„ЗАДАЧИ НАШЕГО ВРЕМЕНИ“.

V.

Ла-Роза.

ЭФИРЪ

ИСТОРІЯ ОДНОЙ ГИПОТЕЗЫ.

Перевела В. О. Хвольсонъ.

Подъ редакціей заслуж. орд. проф. Императорскаго Спб. Университета

О. Д. Хвольсона.

КНИГОИЗДАТЕЛЬСТВО „ЕСТЕСТВОИСПЫТАТЕЛЬ“

С.-ПЕТЕРБУРГЪ. 1914.

„ЗАДАЧИ НАШЕГО ВРЕМЕНИ".

 I—V. 

I. **ЭКСНЕРЪ. Ф. О законахъ въ естественныхъ и въ гуманитарныхъ наукахъ.** Перевела *В. О. Хвольсонъ*. Подъ редакціей заслуженнаго ординарнаго профессор. Императорскаго Спб. Университета *О. Д. Хвольсона*. 1914. 1—45. ц. 40 к.

II. **ХВОЛЬСОНЪ. О. Д.**, заслуж. орд. проф. Императорскаго Спб. Университета. **Принципъ относительности.** Общедоступное изложеніе. Второе, пересмотрѣнное изданіе. 1914. 1—61. ц. 50 к.

III. **УМОВЪ. Н. А.** проф. **Характерныя черты и задачи современной естественно-научной мысли.** 1—47 ц. 40 к.

IV. **ЛОДЖ, ОЛИВЕРЪ ДЖ., СЭРЪ. Непрерывность.** Переводъ *С. Н. Покровскаго* подъ редакціей заслуженнаго ординарнаго профессора Императорскаго Спб. Университета *И. И. Боргмана*. 1914. 1—76. ц. 60 к.

V. **ЛА-РОЗА. Эфиръ. Исторія одной гипотезы.** Перевела *В. О. Хвольсонъ*. Подъ редакціей заслуженнаго ординарнаго профессора Императорскаго Спб. Университета *О. Д. Хвольсона*. 1914. 1—90. ц. 75 к.

Печатаются и готовятся къ печати слѣдующія книги.

ТИПОГРАФІЯ
„ПЕЧАТНЫЙ ТРУДЪ"
СПБ., ПРАЧЕШНЫЙ ПЕР., 4.

ПРЕДИСЛОВІЕ.

Отъ редактора.

Прекрасная книга Ла-Роза содержитъ обстоятельный очеркъ исторіи одной изъ важнѣйшихъ гипотезъ, когда либо служившихъ основою для объясненія окружающихъ насъ физическихъ явленій. Начавъ съ разсмотрѣнія взглядовъ Ньютона и Гюйгенса, авторъ особенно подробно останавливается на классическихъ работахъ Френеля, Лорда Кельвина, Максвелла и Герца. Наконецъ онъ знакомитъ читателей съ современнымъ, весьма интереснымъ и своеобразнымъ положеніемъ вопроса, съ борьбою, происходящею, нынѣ между учеными, которые твердо держатся основныхъ положеній теоріи эфира и приверженцами той теоріи относительности, которая создана Эйнштейномъ, и которая, совершенно отвергая существованіе мірового эфира, произвела небывалый переворотъ въ наукѣ объ окружающихъ насъ явленіяхъ.

Книга Ла-Роза даетъ ясную картину постепенной эволюціи человѣческой мысли, неустанно ищущей логически построеннаго объясненія совершающихся вокругъ насъ явленій, и стремящейся къ построенію удовлетворяющаго насъ міропониманія.

Книга можетъ быть названа вполнѣ популярною.

О. Х.

Спб., Декабрь, 1913 г.

Продолжительныя усилія, которыя прилагались современной наукой при отысканіи непосредственныхъ доказательствъ существованія атомовъ, увѣнчались за послѣднее время блестящимъ успѣхомъ.

Поистинѣ чудесному развитію опытной физики мы даже обязаны весьма близкимъ знакомствомъ, если не съ самими атомами, то все же съ нѣкоторыми (ультрамикроскопическими) частицами, которыя принуждены, благодаря своимъ малымъ размѣрамъ, такъ сказать, непосредственно и тѣснымъ образомъ принимать участіе въ жизни атомовъ, опредѣлять ими свое движеніе и во всѣхъ отношеніяхъ приспособляться къ тѣмъ условіямъ, которыя опредѣляются движеніями атомовъ и которыя мы можемъ предсказать на основаніи теоретическихъ вычисленій.

Но странно! Въ то время, какъ наиболѣе выдающимся экспериментаторамъ удалось поставить атомную теорію на прочное основаніе, группа ученыхъ-теоретиковъ усердно пыталась опрокинуть другой важнѣйшій столбъ того моста, который соединялъ область явленій физики матеріи съ областью явленій оптики и электромагнитизма, и который позволялъ объединить всѣ эти три области въ одно величественное зданіе: механическое міровоззрѣніе.

Подъ вліяніемъ настойчивыхъ ударовъ расшатывается вѣковая гипотеза объ эфирѣ, и въ то же время

рушится и падаетъ построенное съ такимъ трудомъ и съ такою любовью научное зданіе, основанное на мысли о чисто механической сущности всѣхъ физическихъ явленій.

Уничтожающая волна, по своей силѣ, вполнѣ соотвѣтствуетъ колоссальности вызванной ею катастрофы; она расшатываетъ основанія всей физики, опрокидываетъ ихъ, разливается по областямъ родственныхъ ей наукъ, астрономіи и химіи, и неудержимо проникаетъ даже въ область теоріи познанія.

За послѣднія столѣтія мы не находимъ въ исторіи наукъ ни одного явленія, которое можно было бы сравнить съ нынѣ переживаемымъ переворотомъ. Чтобы отыскать въ исторіи какой-либо фактъ, значеніе котораго могло бы быть сравнено съ громаднымъ значеніемъ нынѣ переживаемаго научнаго переворота, намъ пришлось бы, по мнѣнію Макса Планка (одного изъ самыхъ смѣлыхъ и счастливыхъ піонеровъ современной теоретической физики) обратиться къ тому времени, когда система Коперника совершила переворотъ въ основныхъ взглядахъ на вселенную и даже сильно повліяла на религіозныя убѣжденія его современниковъ. Страница, разработкой которой нынѣ занимаются физики-теоретики, представляетъ пожалуй самую послѣднюю, но и самую блестящую страницу въ исторіи эфира; достойный эпилогъ вѣковой борьбы, проведенной съ большимъ воодушевленіемъ и вызвавшій величайшій и всеобщій интересъ.

Исторію эфира, какъ исторію всякой другой гипотезы, пользовавшейся въ теченіе нѣкотораго времени извѣстнымъ значеніемъ въ области научныхъ изслѣдованій, можно начать со временъ древнихъ греческихъ философовъ.

Но я присоединяюсь ко мнѣнію тѣхъ ученыхъ, которые считаютъ за начало научной гипотезы тотъ моментъ когда она въ первый разъ высказывается на основаніи строго доказанныхъ фактовъ, и ея формулировка придаетъ ей истинно научные характеръ и содержаніе. Поэтому, исторія эфира начинается для меня около 1690 года. Нѣсколькими годами раньше удалось одному датскому астроному, Ремеру, впервые доказать, что проходитъ нѣкоторое время, пока свѣтъ распространится отъ одной точки къ другой. При помощи извѣстныхъ наблюденій надъ неріодическими исчезновеніями спутниковъ Юпитера въ тѣневомъ конусѣ этой планеты, онъ нашелъ, что свѣтъ проходитъ путь, равный разстоянію между солнцемъ и землей приблизительно въ 8 минутъ 16 секундъ. Такъ какъ это разстояніе въ то время было уже извѣстно, онъ могъ вычислить длину пути, проходимаго свѣтомъ въ одну секунду, т.-е. скорость свѣта. и въ результатѣ таковаго вычисленія получилъ приблизительно 300.000 км. Какъ видно, это поистинѣ огромная скорость, о которой мы можемъ получить нѣкоторое представленіе, если укажемъ, что поѣздъ. который двигался бы съ этой скоростью, объѣхалъ бы вокругъ земли семь съ половиной разъ въ одну секунду.

Итакъ, если въ данный моментъ пучекъ лучей исходитъ изъ отдаленнаго отъ насъ источника, напр., отъ солнца, то намъ придется подождать извѣстное время пока этотъ пучекъ до насъ дойдетъ. Мы должны представить себѣ, что въ продолженіе этого времени, пучекъ лучей распредѣляется въ пространствѣ между солнцемъ и землей и распространяется по направленію къ намъ. Все это естественно приводитъ насъ къ попыткѣ узнать, что это за среда, которая передаетъ свѣтъ, узнать, на основаніи какихъ механическихъ законовъ происходитъ его распространеніе.

Вскорѣ были предложены двѣ различныя конкретныя картины, дающія отвѣтъ на вопросъ, который поставило ученымъ его времени открытіе Ремера.

Первая изъ нихъ была предложена Гюйгенсомъ въ 1690 году. Она опирается на нѣкоторыя аналогіи, которыя уже въ то время были замѣчены между явленіями свѣта съ одной, и явленіями акустики (или вообще явленіями распространенія деформацій въ упругихъ средахъ — съ другой стороны. Распространеніе свѣта въ пространствѣ происходитъ, по мнѣнію Гюйгенса, при помощи особой подходящей среды, а механизмъ этого распространенія аналогиченъ тому, который мы наблюдаемъ во время распространенія толчка, производимаго паденіемъ камня въ воду пруда. Мы можемъ видѣть, какъ вокругъ того мѣста, гдѣ упалъ камень, поднимается вода, и какъ происходятъ небольшія движенія снизу вверхъ и обратно. Эти движенія не ограничиваются только даннымъ мѣстомъ или непосредственно его окружающимъ, но распространяются по всей поверхности пруда, пока не достигаютъ его береговъ. Но въ каждый отдѣльный моментъ движеніе распредѣлено по небольшой области на поверхности пруда, причемъ эта область имѣетъ форму кольца, центръ котораго находится въ томъ мѣстѣ, куда упалъ камень. Движенія всѣхъ лежащихъ на этомъ кольцѣ частицъ, распространяясь отъ нихъ во всѣ стороны, вызываютъ другія весьма малыя кольца, сливающіяся другъ съ другомъ и образующія наблюдаемое въ слѣдующій моментъ внѣшнее кольцо (большаго радіуса).

По мнѣнію Гюйгенса, источникъ свѣта состоитъ изъ несчетнаго количества малыхъ, весьма подвижныхъ частицъ и окруженъ упругой средой, которая получаетъ отъ источника свѣта толчки и переноситъ ихъ при

посредствѣ механизма „бѣгущей волны“ (какъ его называли) на окружающее пространство.

Но какое вещество можетъ играть роль передающей среды, необходимой для распространенія свѣта? Не то ли самое, которое служитъ для распространенія звука, а именно воздухъ? Или это какое-либо иное изъ извѣстныхъ намъ веществъ? По различнымъ причинамъ мы заключаемъ, что этого быть не можетъ. Главная изъ этихъ причинъ слѣдующая:

Уже во времена Гюйгенса теорія и опытъ вполнѣ выяснили, что скорость распространенія колебаній въ извѣстныхъ намъ упругихъ матеріальныхъ тѣлахъ въ сотни тысячъ разъ меньше, чѣмъ скорость свѣта. Отсюда вытекаетъ, что среда, передающая свѣтъ, должна быть новымъ тѣломъ, существенно отличающимся отъ извѣстной намъ до сихъ поръ матеріи. Гюйгенсъ далъ этому тѣлу названіе „свѣтового эфира“.

Кромѣ того теорія показала что скорость V распространенія колебаній въ упругомъ тѣлѣ зависитъ отъ двухъ свойствъ даннаго тѣла, отъ модуля упругости e и отъ плотности d, причемъ необходимо чтобы было удовлетворено равенство $V^2 = \frac{e}{d}$, а такъ какъ V весьма велико, то эфиръ долженъ обладать крайне большой упругостью и крайне малой плотностью.

Желая представить себѣ конкретную модель механизма распространенія свѣта, Гюйгенсъ предполагалъ, что эфиръ состоитъ изъ мельчайшихъ шарообразныхъ частицъ, которыя всѣ вполнѣ упруги и всѣ обладаютъ одинаковою величиной. Распространеніе свѣта этими частицами должно происходить при помощи того же механизма, который каждый изъ насъ видѣлъ въ школѣ и который передаетъ ударъ костяного шара

черезъ длинный рядъ одинаковыхъ шаровъ до самаго послѣдняго, причемъ весь рядъ расположенъ такъ, что центры шаровъ лежатъ на одной прямой.

Съ метафизической точки зрѣнія, эта картина представляется неудовлетворительной, въ особенности по отношенію къ допущенной упругости частицъ; она оказалась не лучше и съ физической точки зрѣнія, въ особенности благодаря отсутствію достаточнаго объясненія нѣкоторыхъ поистинѣ основныхъ явленій, какъ напр., прямолинейнаго распространенія свѣта.

Послѣ смерти Христіана Гюйгенса, теорія эфира была заброшена въ теченіи болѣе столѣтія. Какъ беззащитная сирота, она была легко свергнута восходящей соперницей, которая долгое время и господствовала, защищаемая великимъ именемъ Ньютона, надъ воззрѣніями научныхъ мыслителей всѣхъ странъ. По мнѣнію Ньютона, источникъ свѣта самъ излучаетъ необходимое для передачи свѣта вещество, т.-е. свѣтъ и передатчикъ свѣта сливаются, оказываются какъ бы тождественными. Причиной распространенія свѣта Ньютонъ считаетъ движеніе небольшихъ, обладающихъ весьма большою скоростью тѣлецъ, безостановочно и въ большомъ количествѣ испускаемыхъ источникомъ свѣта. Такимъ образомъ, лучистая энергія представляетъ живую силу, которой обладаетъ разсматриваемый потокъ частицъ, производящій крайне частую, но ничтожно слабую бомбардировку тѣлъ, на которыя онъ падаетъ.

Въ 1704 году была построена теорія излученія. Начиная съ этого года мы должны прослѣдить развитіе науки приблизительно до 1800 года, чтобы встрѣтить первые признаки рѣшительнаго протеста противъ идей Ньютона и возвращенія ко взгляду Гюйгенса.

Открытіе явленій интерференціи заставило Томаса Юнга снова вернуться къ теоріи Гюйгенса и развить ее на основахъ, пригодныхъ для дальнѣйшаго построенія теоріи эфира. Понятіе о періодичности, вмѣстѣ съ понятіемъ о волнообразномъ распространеніи привели къ богатому разцвѣту и къ новой жизни старое, дотолѣ безплодное древо, теорію эфира.

Гюйгенсъ разсматривалъ возникновеніе свѣтового луча въ видѣ быстро слѣдующихъ другъ за другомъ ударовъ, которые частицы источника свѣта, безъ всякаго порядка и закономѣрности, наносятъ окружающей средѣ. Ему представлялась картина сотрясеній, вызванныхъ на поверхности воды безпорядочно нападающими одинъ за другимъ камнями, и онъ отдѣльно изучалъ распространеніе каждаго изъ этихъ сотрясеній, независимо отъ присутствія остальныхъ. Но Юнгъ иначе понималъ механизмъ излученія и распространенія свѣта. По его мнѣнію частицы источника свѣта уподобляются одинаковому количеству мельчайшихъ маятниковъ, колеблющихся съ большой скоростью, но совершенно правильно, т.-е. равномѣрно, подобно маятникамъ часовъ. Эти движенія съ той же равномѣрностью передаются эфиру и распространяются черезъ пространство. Каждая частица этой среды, съ своей стороны, колеблется на подобіе маятника, причемъ она безостановочно повторяетъ движеніе частицъ непосредственно предыдущихъ, считая отъ источника свѣта, и передаетъ слѣдующимъ за нею всѣ особенности своего движенія. Частицы, лежащія на поверхности шара, (въ изотропной средѣ), центръ котораго совпадаетъ съ источникомъ свѣта производятъ въ каждый моментъ вполнѣ одинаковыя колебанія; а совокупность этихъ частицъ опредѣляетъ поверхность волны; частицы же, которыя расположены на одной прямой, проходящей

черезъ центръ шара, не могутъ колебаться одинаково, такъ какъ требуется нѣкоторое время для того, чтобы движеніе распространилось отъ одной частицы къ другой. Эти маленькіе маятники производятъ, какъ говорятъ, не синхроническія колебанія, но различныя по фазѣ, т.-е. онѣ послѣдовательно начинаютъ свои движенія, такъ что въ различныхъ разстояніяхъ отъ источника свѣта можно найти частицы, которыя въ одинъ и тотъ же моментъ движутся въ противоположныхъ направленіяхъ. Отсюда вытекаетъ, что если въ данномъ пространствѣ двѣ системы волнъ накладываются одна на другую, то мы можемъ найти мѣста, въ которыхъ колебанія обѣихъ системъ происходятъ одинаково и, такимъ образомъ, ихъ дѣйствія складываются. Но мы находимъ и такія мѣста, въ которыхъ колебанія обѣихъ системъ, наоборотъ, въ каждый данный моментъ другъ другу противоположны; они, поэтому, противодѣйствуютъ другъ другу и даютъ темноту.

Такимъ образомъ мы находимъ объясненіе открытаго Юнгомъ явленія интерференціи, какъ оно было названо, т.-е. чередованія свѣта и тѣни при наложеніи одного пучка свѣта на другой, если мы предположимъ, что явленія свѣта основаны на закономѣрныхъ, періодическихъ движеніяхъ. Ученые того времени были слишкомъ привязаны къ Ньютоновской теоріи, и попытка Юнга заставить ихъ вернуться къ гипотезѣ волнообразныхъ движеній осталась почти безрезультатной. Какъ разъ въ это время ученымъ не отступавшимъ передъ усложненіями теоріи испусканія, какъ напр. Лапласу, удалось, при помощи этой теоріи объяснить многія важныя явленія. Идеи Юнга не встрѣтили сочувствія у спорящихъ ученыхъ, но зато онѣ нашли благодарную почву въ умѣ одного молодого инженера, который былъ посланъ по дѣламъ службы, въ малень-

кій городокъ Франціи, гдѣ онъ и занимался научными изслѣдованіями, не имѣя подъ руками никакихъ вспомогательныхъ средствъ, въ слѣдствіи чего ему приходилось черпать указанія и совѣты только изъ одного источника, изъ своего геніальнаго, творческаго ума.

Августинъ Френель удачно соединилъ существенное въ идеяхъ Гюйгенса и Юнга, а именно: „принципъ интерференціи“ съ принципомъ распространяющихся волнъ, т.-е. онъ изслѣдовалъ возможность интерференціи движеній, исходящихъ отъ различныхъ точекъ одной и той же волновой поверхности, благодаря различной длинѣ путей, проходимыхъ ими до достиженія одной и той же точки.

Руководясь этой замѣчательной мыслью, Френель объяснилъ почти всѣ извѣстныя въ то время оптическія явленія; она же послужила ему руководящей нитью для открытія многихъ дальнѣйшихъ явленій, которыя заставили, наконецъ, ученыхъ принять теорію эфира, такъ какъ наука не была въ состояніи дать другого объясненія открывавшимся такимъ путемъ новымъ явленіямъ.

Исторія этихъ открытій, которыя относятся къ наиболѣе трудно уловимымъ явленіямъ, и которыя были произведены при помощи нѣсколькихъ кусковъ папки и при содѣйствіи кузнеца, можетъ быть названа поистинѣ замѣчательной. Я не могъ бы заняться упомянутыми, новыми явленіями, не заходя въ область спеціальной оптики. Къ сожалѣнію, я долженъ отказаться разсмотрѣть хотя бы самыя существенныя изъ нихъ, такъ какъ я увѣренъ, что мнѣ не удастся сдѣлать эти объясненія достаточно понятными. Но я желалъ бы лишь упомянуть, что Френель собралъ въ этой области такое количество новаго матеріала, и предложен-

ныя имъ объясненія были настолько гармоничны и произвели такое глубокое впечатлѣніе, что Французская Академія, объявившая премію за разработку темы, предложенной ею съ плохо скрываемой цѣлью опровергнуть опыты Френеля, была принуждена присудить Френелю-же премію за работу, которую послѣдній безъ боязни прислалъ по совѣту Араго. Нѣсколько спустя молодого инженера привѣтствовали, какъ своего коллегу такіе ученые, какъ Лапласъ, Пуассонъ и Біо, недавніе упорные противники теоріи колебаній. Я долженъ съ удовольствіемъ замѣтить еще слѣдующее: Пуассонъ, состоявшій предсѣдателемъ той комиссіи Академіи, которая задалась цѣлью доказать ошибочность работы Френеля, заявилъ, что пользуясь формулами, полученными послѣднимъ при изученіи явленій диффракціи, можно довести до конца всѣ вычисленія для случая тѣни, брошенной на экранѣ небольшимъ дискомъ, и что производя это вычисленіе, онъ нашелъ совершенно парадоксальный результатъ: выходило, что при извѣстныхъ условіяхъ разстоянія между источникомъ свѣта, дискомъ и экраномъ, въ центрѣ полученной тѣни должно находиться свѣтлое пятно, какъ будто дискъ имѣлъ въ серединѣ отверстіе. Благодаря экспериментальному доказательству, данному Френелемъ, котораго Араго извѣстилъ о результатѣ, полученномъ Пуассономъ, большинство членовъ враждебной ему комиссіи, въ концѣ концовъ высказались въ его пользу.

Такимъ образомъ теорія эфира проникла въ высшія хоромы оффиціальной науки, и переступила черезъ важнѣйшую ступень на пути своего побѣдоноснаго восхода. Но это было еще не все; вышеназванная работа не представляла самаго великаго вклада Френеля въ ученіе о свѣтѣ.

Въ 1816 г. Френель пріѣхалъ на нѣсколько мѣсяцевъ въ Парижъ, пользуясь полученнымъ отпускомъ, и вмѣстѣ съ Араго принялся за изученіе тѣхъ интересныхъ свойствъ, которыя обнаруживаетъ пучекъ свѣта послѣ отраженія или послѣ прохожденія черезъ тѣло, кристаллизованное въ одной изъ кристаллистическихъ системъ, за исключеніемъ первой, т.-е., правильной системы. Какъ извѣстно, эти тѣла разлагаютъ проходящій черезъ нихъ пучекъ свѣта на два луча; ихъ называютъ двояко-преломляющими. Прошедшіе черезъ нихъ лучи обнаруживаютъ свойства, которыми они не обладали; такъ, эти лучи уже не могутъ между собою интерферировать: кромѣ того, они не всегда проходятъ черезъ другіе прозрачные кристаллы, какъ напр., черезъ турмалинъ.

Вѣроятно всѣмъ знакомы турмалиновые щипцы. Они состоятъ изъ двухъ параллельныхъ другъ другу пластинокъ этого минерала; каждая изъ нихъ прозрачна. Эти пластинки образуютъ вмѣстѣ прозрачную систему, когда онѣ установлены въ опредѣленномъ положеніи одна относительно другой. Система перестаетъ быть прозрачной, въ томъ случаѣ, если мы повернемъ одну изъ пластинокъ на прямой уголъ относительно ея перваго положенія.

Входящій въ окно свѣтъ проходитъ черезъ первую пластинку, взятую отдѣльно, какъ бы ее не поворачивать, но по выходѣ изъ нея онъ не обладаетъ одинаковыми свойствами въ различныхъ, перпендикулярныхъ къ нему направленіяхъ; такъ онъ можетъ пройти черезъ вторую пластивку лишь въ случаѣ опредѣленнаго ея расположенія относительно первой. Это явленіе, какъ извѣстно называется поляризаціей свѣта, а лучъ, выходящій изъ первой пластинки поляризованнымъ.

Эти факты заставили **Френеля** глубоко и замѣчательно смѣло измѣнить свой взглядъ на свѣтовой эфиръ.

До открытія **Френеля**, волновая теорія молчаливо опиралась на предположеніе, что волновое движеніе продольно, т.-е., что каждая колеблющаяся частица эфира движется взадъ и впередъ по направленію распространенія луча.

Но совершенно ясно, что, принимая теорію продольныхъ колебаній, мы не въ состояніи объяснить себѣ вышеназванныхъ явленій поляризаціи. Если мы предположимъ, что въ свѣтовомъ лучѣ происходятъ продольныя колебанія, то остается непонятнымъ, по какой причинѣ распространеніе луча, выходящаго изъ первой пластинки и пробѣгающаго вторую по неизмѣняющемуся пути, можетъ подвергнуться какому-либо вліянію, зависящему отъ расположенія остальныхъ точекъ второй пластинки относительно пути луча. Вѣдь какъ бы мы не мѣняли установку второй пластинки, ея частицы, приведенныя въ движеніе свѣтовыми колебаніями, остаются такими, какими были; въ случаѣ, если происходятъ продольныя колебанія, то и направленіе, въ которомъ они совершаются, не подвергается никакому измѣненію. Зависимость явленія отъ установки второй пластинки остается непонятной. Но если предположить, что колебанія свѣта происходятъ по направленію, перпендикулярному къ направленію самаго луча, то станетъ яснымъ, какимъ образомъ установка кристаллической пластинки можетъ вліять на распространеніе свѣта, несмотря на то, что путь луча не измѣняется.

Дѣйствительно, кристаллистическое тѣло обнаруживаетъ различныя свойства въ различныхъ плоскостяхъ, проходящихъ черезъ прямую, вдоль которой распро-

страняется лучъ. Предположивъ, что колебанія свѣта перпендикулярны къ направленію луча, и, до входа въ пластинку, происходятъ всѣ въ одной плоскости, легко себѣ представить, что при измѣненіи установки (т.-е. при вращеніи) второй пластинки относительно плоскости колебаній, послѣднія, входя въ кристаллъ, встрѣчаютъ въ немъ среду, обладающую совершенно иными свойствами, вслѣдствіе чего и самое распространеніе луча внутри кристалла должно измѣниться. Гипотеза поперечныхъ колебаній, согласная съ результатами опытовъ Френеля и Араго, даетъ достаточное объясненіе тому обстоятельству, что возможность интерференціи двухъ поляризованныхъ лучей, зависитъ отъ того, происходятъ ли колебанія обоихъ лучей въ одной плоскости, или въ двухъ взаимно перпендикулярныхъ плоскостяхъ. Впрочемъ, мысль о поперечности колебаній была уже ранѣе высказана Юнгомъ.

Однако допущеніе поперечныхъ колебаній встрѣтило такія серіозныя затрудненія въ области теоріи, что даже Френель нѣкоторое время не рѣшался объявить о своей новой гипотезѣ.

Теорія распространенія волнового движенія въ упругой средѣ, приложенная къ легкоподвижнымъ, т.-е. къ жидкимъ и газообразнымъ тѣламъ, доказывала, что такія тѣла способны передавать только продольныя колебанія. Поперечныя-же колебанія могутъ возникнуть и распространяться лишь въ твердыхъ тѣлахъ, т.-е. въ тѣлахъ, стремящихся сохранить свою форму. По мнѣнію Френеля, мы, принимая теорію поперечныхъ колебаній, тѣмъ самымъ принуждены считать эфиръ Гюйгенса не легкоподвижнымъ, а твердымъ тѣломъ. Но представленіе о твердомъ эфирѣ встрѣтило крайне серіозное возраженіе, которое Френелю казалось непреодолимымъ: необходимо было совмѣстить

гипотетическія свойства эфира съ фактомъ движеній небесныхъ тѣлъ, происходящихъ въ томъ самомъ пространствѣ, которое заполнялось твердымъ эфиромъ.

Въ теченіи нѣкотораго времени, основатель волновой теоріи свѣта не былъ въ состояніи освободиться отъ вліянія строгой логики, воспитанной на основахъ французскаго математическаго классицизма, и не рѣшался открыто защищать необходимость признать эфиръ твердымъ тѣломъ, но тѣмъ не менѣе ему неизбѣжно пришлось посвятить этому основному представленію всю свою дальнѣйшую работу.

Вскорѣ не только Френелю, но и всѣмъ ученымъ, которые задумывались надъ его цѣннымъ трудомъ, допущеніе поперечныхъ колебаній стало представляться неизбѣжно вытекающимъ изъ фактовъ, и даже болѣе необходимымъ, чѣмъ выполненіе какихъ бы то ни было требованій логики. Съ тѣхъ поръ и до сего времени, распространеніе свѣта разсматривается всѣми, какъ явленіе періодическое, по существу обладающее характеромъ поперечныхъ колебаній. Кромѣ такого взгляда на эфиръ, какъ на твердое тѣло, величайшій работникъ въ области оптическихъ явленій не далъ наукѣ о свѣтѣ почти ни одного яснаго указанія относительно структуры загадочной среды, передающей свѣтовыя колебанія. Характерная черта его генія выражалась въ томъ, что Френель былъ болѣе расположенъ къ глубокимъ, но отвлеченнымъ представленіямъ о явленіяхъ природы, чѣмъ къ матеріализаціи ихъ въ болѣе или менѣе грубыхъ моделяхъ. Онъ ничего не высказалъ о природѣ эфира, кромѣ того, что состояніе эфира видоизмѣняется присутствіемъ матеріи, а именно, что, при соприкосновеніи съ матеріей или внутри ея, эфиръ обладаетъ большей плотностью, чѣмъ въ пустомъ пространствѣ, и, что въ

кристаллической средѣ эта плотность представляется не одинаковой въ различныхъ направленіяхъ.

Френель полагалъ, что каждое тѣло содержитъ, во первыхъ такое количество эфира, которое находилось бы въ пустомъ пространствѣ, въ объемѣ, равномъ объему тѣла, и которое остается неподвижнымъ въ пространствѣ при движеніяхъ тѣла, и, во вторыхъ, нѣкоторое другое количество эфира, неизмѣнно связанное съ тѣломъ. Это послѣднее образуетъ излишекъ плотности и сопровождаетъ данное тѣло во всѣхъ его движеніяхъ. Къ такому предположенію Френель былъ приведенъ нѣкоторыми важными явленіями, о которыхъ будетъ сказано ниже.

Итакъ, тѣло, находящееся въ движеніи, увлекаетъ только часть содержащагося въ немъ эфира, а именно часть, опредѣляемую дробью $\frac{n^2-1}{n^2}$, гдѣ n коэффиціентъ преломленія тѣла.

Мы не можемъ заняться разсмотрѣніемъ другихъ славныхъ работъ, которыя Френелю удалось совершить, особенно въ области оптики. Характеръ нашего очерка запрещаетъ мнѣ заняться ими, и я съ сожалѣніемъ замѣчаю, что принужденъ нарисовать обликъ великаго ученаго въ весьма тускломъ и неясномъ освѣщеніи. Какъ много далъ онъ наукѣ! Если мы представимъ себѣ, насколько коротка была его жизнь—онъ скончался въ возрастѣ 39 лѣтъ—и если мы примемъ во вниманіе, что большая часть его дѣятельности, которую онъ успѣлъ проявить въ теченіи лучшихъ годовъ своей жизни, была, вслѣдствіе его матеріальной необезпеченности, до конца его дней посвящена добросовѣстному исполненію обязанностей скромной должности инженера (въ которой его геній также оставилъ блестящіе слѣды), то мы почувствуемъ величайшій вос-

торгъ и, въ то же время, глубокую скорбь о такой цѣнной и такъ рано и жестоко прерванной жизни и о томъ, что столь благородная дѣятельность такъ часто отвлекалась и прерывалась неизбѣжной борьбой за существованіе.

Но какъ бы не былъ великъ трудъ Френеля, онъ все-таки вскорѣ сталъ представляться неисчерпывающимъ затронутыхъ имъ вопросовъ. Нѣкоторыя весьма важныя явленія, напр., явленія дисперсіи (разложеніе свѣта) почти не были затронуты теоріей Френеля; кромѣ того, и сама теорія не во всѣхъ своихъ частяхъ оказалась вполнѣ удовлетворительной и достаточно ясной. Но послѣднее обстоятельство ни въ какомъ случаѣ не умаляетъ великой заслуги Френеля. Стоксъ (Stokes) говоритъ: „Если мы вспомнимъ, на какой степени развитія стояла теорія эфира, когда Френель съ ней познакомился, и до какого развитія онъ ее довелъ, то мы должны изумляться не тому обстоятельству, что Френелю не удалось построить точной динамической теоріи, но скорѣе тому, что геній одного человѣка былъ въ состояніи такъ много дать наукѣ“.

Почти всѣ послѣдователи Френеля работали надъ исправленіемъ и усовершенствованіемъ теоріи твердаго эфира. При этомъ они стремились объяснить распространеніе свѣта черезъ матеріальныя тѣла, которое происходитъ съ неодинаковою скоростью для лучей различнаго цвѣта, вслѣдствіе чего составной пучекъ свѣта, каковымъ мы считаемъ, напр., бѣлый свѣтъ, проходя черезъ призму изъ прозрачнаго вещества, разлагается на свои составныя разноцвѣтныя части и образуетъ то, что мы называемъ спектромъ. Мы видимъ, что описанныя явленія приводятъ насъ къ весьма важному вопросу; они касаются отношеній между свѣтомъ и передающей средой, иначе говоря отношеній между эфиромъ и матеріей.

Идеи и представленія, которыя были высказаны въ промежуткѣ времени отъ смерти Френеля до работъ Кельвина, настолько многочисленны и пестры, настолько странны, полны безпорядка и противорѣчій, что они озадачиваютъ и ослѣпляютъ не только того, кто знакомится съ ними во время краткаго доклада, но и того, кто, не торопясь, отыскиваетъ и изучаетъ ихъ по безчисленнымъ научнымъ статьямъ, въ которыхъ они разбросаны. Вотъ почему я не могу дать хотя бы ихъ суммарнаго обзора, и долженъ ограничиться указаніемъ на нѣкоторыя изъ важнѣйшихъ идей, высказанныхъ въ теченіи упомянутаго періода времени.

Первая остроумная попытка объяснить дисперсію и соотвѣтственно перестроить теорію твердаго эфира, была сдѣлана другимъ французскимъ инженеромъ и выдающимся математикомъ Коши (Cauchy). Онъ предположилъ, что эфиръ представляетъ упругую среду, состоящую изъ мельчайшихъ частицъ, разстоянія между которыми настолько велики, что эти частицы могутъ быть разсматриваемы, сравнительно съ разстояніями между ними, какъ математическія точки. Взаимодѣйствіе этихъ частицъ обусловливается ихъ массой и ихъ взаимными разстояніями. Коши представлялъ себѣ, что эфиръ, заключающійся внутри тѣлъ, состоитъ изъ двухъ частей. Одна часть уплотнена вокругъ частицъ матеріи, такъ что эфиръ какъ бы съ періодическою плотностью распредѣляется внутри тѣла. Другая часть эфира свободна, но разстоянія между частицами эфира нѣсколько больше, чѣмъ въ пустомъ пространствѣ.

Опираясь на эти гипотезы, Коши построилъ теорію, благодаря которой ему удалось получить выводы, аналогичные выводамъ Френеля, и найти опредѣленную связь между коэффиціентомъ преломленія и цвѣтомъ лучей, т.-е. періодомъ ихъ колебаній; эта теоре-

тически найденная закономѣрная связь, во многихъ случаяхъ, дѣйствительно обнаруживалась при опытныхъ изслѣдованіяхъ.

Въ этой же области появились многочисленные и цѣнные труды Стокса, Неймана, Грина, Макъ-Куллага, Гельмгольца, Зельмейера и др. Но мы не можемъ разсматривать ихъ отдѣльно, такъ какъ это завело бы насъ слишкомъ далеко. Я желалъ бы остановиться лишь на трудахъ Лорда Кельвина, который много занимался теоріей эфира и его отношеніемъ къ вѣсомой матеріи; изъ ученыхъ послѣдняго времени онъ до конца жизни оставался наиболѣе стойкимъ и убѣжденнымъ защитникомъ механической теоріи оптическихъ явленій. Кельвинъ далъ теоріи эфира то, чего не могъ дать ей Френель. Умъ Кельвина, по его собственнымъ словамъ, не могъ усвоить идею, если она не была облечена въ форму отчетливой картины. Міръ его представленій не былъ похожъ на возвышенный эмпирей, въ которомъ могутъ обитать лишь безтѣлесныя, лишенныя всего земного существа; онъ скорѣе представлялъ нѣчто, наполненное шумомъ многочисленныхъ машинъ, движимыхъ интенсивной, никогда не отдыхающей жизнью. Его могучая фантазія и замѣчательная плодовитость его воображенія не знали границъ и порой оттѣсняли своимъ неудержимымъ потокомъ даже требованія строгой логики.

Кельвинъ никогда не находилъ противорѣчія между гипотезой твердаго эфира и свободнымъ движеніемъ планетъ; онъ старался и другимъ помочь совершенно отдѣлаться отъ сомнѣній относительно того, что онъ самъ представлялъ себѣ съ такою ясностью. Нѣтъ необходимости, сказалъ онъ намъ сначала, непремѣнно разсматривать эфиръ какъ твердое тѣло, ибо мы знаемъ о немъ только то, что онъ обнаруживаетъ свойства

твердаго тѣла въ явленіяхъ свѣта, между тѣмъ какъ онъ обладаетъ свойствами жидкости при движеніяхъ небесныхъ тѣлъ. Эта двойственность нисколько не должна казаться странной или противорѣчивой; она не многимъ отличается отъ свойства нѣкоторыхъ матеріальныхъ тѣлъ [1].

Если мы возьмемъ кусокъ смолы или еще лучше, шотландскаго сапожнаго вара, и вырѣжемъ изъ него небольшой камертонъ, то мы замѣтимъ, что послѣдній обладаетъ способностью звучать, не отличаясь въ этомъ отношеніи отъ стального камертона. Отсюда вытекаетъ, что сапожный варъ ведетъ себя совершенно, какъ твердое тѣло. Однако, если изъ того же вещества сдѣлать пластинку и опустить ее въ сосудъ съ водой, положивъ подъ нея кусочки пробки, а сверху нѣсколько свинцовыхъ шариковъ или желѣзныхъ предметовъ, то, черезъ нѣсколько мѣсяцевъ мы увидимъ, что пробка плаваетъ на поверхности воды, а шарики лежатъ на днѣ. И тѣмъ и другимъ тѣламъ удалось проникнуть черезъ слой вара подъ вліяніемъ нѣкоторыхъ, весьма незначительныхъ силъ (разницы между ихъ вѣсомъ и подъемной силой, которая на нихъ дѣйствуетъ въ водѣ). Въ этомъ случаѣ варъ обнаруживаетъ свойства жидкаго тѣла. Такимъ образомъ, одно и то же вещество можетъ вести себя какъ твердое тѣло, реагируя на мгновенныя и большія внѣшнія силы, и относиться какъ жидкость къ продолжительно дѣйствующимъ, хотя слабымъ силамъ. Аналогично и эфиръ можетъ вести себя какъ твердое тѣло, относительно крайне быстрыхъ движеній производимыхъ частицами источника свѣта (мы насчитываемъ билліоны колебаній въ одной сотой секунды), между тѣмъ

---

[1]) Подобный взглядъ былъ нѣсколько ранѣе высказанъ и Стокеомъ.

какъ онъ представляется жидкимъ тѣломъ относительно несравненно болѣе медленныхъ движеній небесныхъ тѣлъ. Позже ему удалось вычислить плотность эфира и его модуль сдвига. При помощи весьма простого вычисленія, которое основано на количествѣ теплоты, получаемой отъ солнца, онъ установилъ, что плотность эфира равняется по крайней мѣрѣ 5×10^{-18}; другими словами, если бы эфиръ подчинялся закону всемірнаго тяготѣнія, и могъ бы быть взвѣшенъ, то вѣсъ кубическаго сантиметра эфира, опредѣленный на поверхности земли, равнялся бы не менѣе 5×10^{-18}, т. е. $\frac{5}{1\,000\,000\,000\,000\,000\,000}$ грамма.

Установивъ эту величину, онъ вычислилъ, что упругость эфира (модуль сдвига) должна по крайней мѣрѣ, равняться величинѣ, которая въ 600000000 разъ меньше, чѣмъ упругость закаленной стали. Слѣдуетъ замѣтить, что упругость эфира въ 600,000,000 разъ меньше упругости стали, лишь въ томъ случаѣ, когда эфиръ сопротивляется внѣшнимъ силамъ, стремящимся измѣнить его *форму*, такъ какъ необходимо было предположить — что Кельвинъ не всегда дѣлалъ—что реакція противъ вліяній, которыя стремились бы сжать эфиръ, должны быть безконечно велики въ сравненіи съ тѣми же реакціями стали и, вообще, всѣхъ извѣстныхъ намъ другихъ тѣлъ. Объ этомъ предположеніи будетъ еще разъ упомянуто ниже.

Изъ результатовъ этого вычисленія Кельвинъ заключилъ, что даже такая, сравнительно ничтожная, упругость эфира должна вліять на движеніе въ эфирѣ небесныхъ тѣлъ, особенно же кометъ. Но, какъ извѣстно, астрономія доказала, что за продолжительное время, въ теченіи котораго наблюдались кометы, въ ихъ движеніи не было замѣчено никакого замедленія. Однако

Кельвинъ не остановился даже передъ этимъ новымъ затрудненіемъ, которое вытекаетъ изъ его же вычисленій, и, вмѣсто того чтобы отречься отъ дорогой ему теоріи эфира, онъ счелъ болѣе естественнымъ отказаться отъ устарѣлаго схоластическаго принципа непроницаемости. Кельвинъ соглашается съ тѣмъ, что названный принципъ дѣйствителенъ для матеріальныхъ тѣлъ, но полагаетъ, что онъ неприложимъ къ эфиру. Эфиръ обладаетъ свойствомъ занимать то же самое пространство, которое одновременно занято частицами матеріи. Послѣднія не должны непремѣнно возмущать при своемъ движеніи частицы эфира и заставлять ихъ покинуть занимаемое ими мѣсто, какъ и самъ эфиръ не представляетъ препятствія движенію матеріи. Такимъ образомъ планеты и кометы могутъ свободно двигаться въ эфирѣ, не встрѣчая ни малѣйшаго препятствія, и астрономія имѣетъ возможность увѣрить насъ, что движеніе небесныхъ тѣлъ происходитъ неизмѣнно цѣлые милліоны столѣтій, и что этимъ она не опровергаетъ существованія эфира, которое, такимъ образомъ, представляется неоспоримымъ.

Теорія дала возможность предвидѣть, что въ твердыхъ тѣлахъ не только могутъ возникнуть поперечныя волны, но и то, что эти послѣднія всегда должны сопровождаться продольными колебаніями (особенно послѣ отраженія или преломленія). Итакъ, въ томъ случаѣ, если эфиръ дѣйствительно обладаетъ свойствами, которыя мы могли бы сравнить со свойствами извѣстныхъ намъ твердыхъ тѣлъ, то въ каждомъ пучкѣ свѣта, кромѣ поперечныхъ колебаній, должны были бы существовать также и продольныя колебанія. Но, несмотря на многочисленныя изслѣдованія, произведенныя въ теченіи долгаго времени, ни разу не удалось доказать присутствія, въ свѣтовыхъ волнахъ, продольной сла-

гаемой колебаній, и ученые были принуждены объяснить отсутствіе продольныхъ колебаній особымъ свойствомъ эфира, отличнымъ отъ свойства всѣхъ извѣстныхъ намъ твердыхъ тѣлъ.

Теорія доказываетъ, что системы продольныхъ и поперечныхъ волнъ, возникающія въ упругоизмѣненныхъ тѣлахъ, обладаютъ различными скоростями. Величины этихъ скоростей можно выразить слѣдующими формулами. Для поперечныхъ волнъ $V_t^2 = \frac{e}{d}$, гдѣ *e* модуль сдвига, а *d* — плотность тѣла; для продольныхъ колебаній: $V_l^2 = \frac{K + \frac{4}{3}e}{d}$, причемъ, *e* и *d* имѣютъ то же значеніе, какъ и въ предыдущей формулѣ, а K модуль объемнаго сжатія тѣла.

Желая объяснить отсутствіе продольныхъ колебаній, можно допустить два различныхъ предложенія относительно величины V_l. Во первыхъ, мы можемъ предположить, что скорость $V_l = \infty$ (безконечно велика): въ такомъ случаѣ передаваемая энергія равна нулю, и волна, въ дѣйствительности, не существуетъ. Второе предположеніе заключается въ томъ, что $V_l = 0$, что означаетъ отсутствіе распространенія продольной волны.

Для того, чтобы удовлетворить требованію, заключающемуся въ первой гипотезѣ, достаточно принять $K = \infty$, т.-е., приписать эфиру безконечно большое сопротивленіе тѣмъ вліяніямъ, которыя стремятся измѣнить его объемъ; другими словами, приходится допустить, что эфиръ не поддается сжатію.

Стоксъ и другіе ученые, занимавшіеся теоріей свѣтовыхъ явленій, предпочли эту гипотезу, и приняли ее по различнымъ причинамъ, главнѣйшія изъ которыхъ будутъ разсмотрѣны ниже. Но **Кельвинъ**, который поставилъ себѣ задачей устранить неясности,

оставшіяся при объясненіи нѣкоторыхъ частностей въ явленіяхъ отраженія свѣта, смѣло вступилъ на иной путь и, не останавливаясь передъ затрудненіями, вызываемыми этой попыткой, принялъ $V_l = 0$. Это предположеніе непосредственно приводитъ къ равенству $K + \frac{4}{3} l = 0$; а такъ какъ второй членъ суммы больше нуля, то отсюда слѣдуетъ, что K величина отрицательная, причемъ ея абсолютное значеніе равно значенію второго члена. Новая гипотеза, очевидно, приводитъ къ представленію, которое, въ своихъ основахъ, совершенно противоположно идеѣ твердаго, не поддающагося сжатію эфира, т.-е. къ идеѣ о стягивающемся эфирѣ. Если тѣло обладаетъ отрицательною упругостью сжатія, то это означаетъ, что оно какъ бы идетъ на встрѣчу силамъ, производящимъ сжатіе; другими словами, такое тѣло имѣетъ стремленіе сжиматься.

Каждому бросается въ глаза невѣроятная смѣлость этой гипотезы съ метафизической точки зрѣнія. По мнѣнію Кельвина, эфиръ долженъ обладать тенденціей сжиматься, т.-е. онъ находится въ томъ состояніи, въ которомъ намъ представляется растянутый по всѣмъ направленіямъ резиновый предметъ. Отсюда вытекаетъ, что если бы эфиръ былъ свободенъ, то онъ долженъ былъ бы поддаться этой внутренней тенденціи и либо сжиматься до тѣхъ поръ, пока онъ ее не утратитъ, либо сжиматься до безконечности, если эта тенденція не можетъ быть потеряна. Но предполагая, что онъ обладаетъ тенденціей къ сжатію и постоянно ее сохраняетъ, мы должны заключить, что эфиръ не можетъ быть свободнымъ. Но какъ мы должны понимать сжимающійся эфиръ, который наполняетъ все пространство, заливаетъ вселенную? Нисколько не озадаченный по-

добными вопросами, Кельвинъ отвѣчаетъ съ полнымъ спокойствіемъ: эфиръ вселенной закрѣпленъ въ своихъ границахъ; онъ какъ бы приросъ къ стѣнамъ, заключающимъ вселенную.

Очевидно, что эта мысль еще менѣе пріемлема, чѣмъ то предположеніе, которое къ ней привело, и не разсѣиваетъ того сомнѣнія, на которое она должна отвѣтить. Но Кельвинъ этого не замѣчаетъ, ибо его геній, какъ было сказано, не всегда останавливаетъ свой полетъ, чтобы удовлетворить требованіе логики. Ему удается представить себѣ вселенную такъ, какъ онъ представляетъ себѣ свой рабочій кабинетъ; вмѣсто того, чтобы разъяснить исторію ея возникновенія и ея строеніе, онъ заботится лишь объ описаніи ея внутреннихъ механизмовъ и того, какъ они функціонируютъ. Сжимающійся эфиръ, говоритъ онъ, можно сравнить съ большимъ количествомъ весьма малыхъ мыльныхъ пузырей, т.-е. съ пѣной, наполняющей сосудъ. Если мы удалимъ воздухъ изъ каждаго пузыря, то вся система, получаетъ въ сильной степени тенденцію сжиматься въ силу извѣстныхъ свойствъ жидкихъ пленокъ; но она не сжимается безконечно, такъ какъ наружные пузыри пристаютъ къ стѣнкамъ сосуда, отъ которыхъ ихъ не легко оторвать, внутреннія же сцѣплены между собою и поддерживаютъ другъ друга. Но Кельвинъ самъ замѣчаетъ, что не слѣдуетъ представлять себѣ структуту эфира вполнѣ тождественной со структурой описанной системы; онъ даетъ лишь грубый примѣръ который помогаетъ намъ представить себѣ среду, передающую одни лишь поперечныя колебанія. Впослѣдствіи Кельвинъ отказался отъ этого воззрѣнія, но вслѣдствіи вышеуказанныхъ затрудненій, а вслѣдствіи его недостаточности для объясненія нѣкоторыхъ явленій, которыя удовлетворительно объясняла гипотеза

несжимаемаго эфира. Въ концѣ жизни, въ своихъ послѣднихъ работахъ, онъ еще разъ попытался обезпечить своей любимой идеѣ спокойное и долгое существованіе, рѣшившись соединить ученіе объ упругомъ эфирѣ съ извѣстными намъ электрическими и магнитными явленіями, надѣясь дать механическую картину всѣхъ явленій вселенной, построенную на свойствахъ все того же стараго эфира.

Онъ занимался этой мыслью несмотря на то, что въ это самое время электромагнитная теорія праздновала свои величайшія побѣды благодаря работамъ Лоренца.

Въ своихъ послѣднихъ изслѣдованіяхъ Кельвинъ соединяетъ въ одно цѣлое теорію несжимаемаго эфира съ теоріей эфира, обладающаго тенденціей сжиматься. Свободный эфиръ, т.-е. наполняющій пространство, не содержащее вѣсомой матеріи, онъ представляетъ себѣ несжимаемымъ; но эфиръ, заключающійся въ матеріи, находится, благодаря нѣкоторымъ съ ея стороны вліяніямъ, въ такомъ состояніи деформаціи, при которомъ онъ пріобрѣтаетъ тенденцію сжиматься.

Кельвинъ считаетъ атомъ сложной системой, которая образуется электрическими зарядами, и въ этомъ отношеніи его идея сходится съ основами современнаго ученія объ электричествѣ; различныя части атома обладаютъ способностью производить на эфиръ дѣйствія притяженія или отталкиванія. Законъ этого дѣйствія всегда сводится къ прямой пропорціональности массамъ и обратной пропорціональности нѣкоторой функціи разстоянія. Атомъ долженъ, по его мнѣнію, обладать формой шара и содержать такое же количество эфира, какое его объемъ содержалъ бы въ пустомъ пространствѣ. Но плотность эфира внутри атома не вездѣ одинакова: вблизи поверхности она меньше, чѣмъ плотность свободнаго эфира, между тѣмъ какъ около централь-

наго ядра она ее превышаетъ. Итакъ, эфиръ образуетъ внутри атома концентрическіе, сферическіе слои, плотность которыхъ увеличивается съ приближеніемъ къ центру. Такимъ способомъ, строеніе атома оказывается тѣсно связаннымъ съ другимъ существеннымъ элементомъ, а именно со временемъ (аналогичное замѣчается и въ другихъ теоріяхъ дисперсіи), подобно тому, какъ механизмъ стѣнныхъ часовъ связанъ съ опредѣленнымъ временемъ, а именно съ періодомъ собственныхъ колебаній маятника, остающимся постояннымъ, пока въ механизмѣ часовъ не произойдетъ какого-либо измѣненія. Вышеописанный атомъ обладаетъ большимъ количествомъ собственныхъ періодовъ колебаній, которые зависятъ отъ закона распредѣленія въ немъ эфира. И въ этомъ случаѣ Кельвинъ даетъ картинное изображеніе, прибѣгая къ остроумному построенію модели, разъясняющей архитектуру атома.

Подобный атомъ не имѣетъ никакого вліянія на внѣшній эфиръ; но во время движенія черезъ эфиръ, въ атомѣ должны произойти перемѣны, т.-к. черезъ него послѣдовательно проходятъ различныя количества эфира въ томъ порядкѣ, въ какомъ эти количества расположены по пути движенія атома.

Пока атомъ движется съ постоянной скоростью, перемѣна остается лишь мѣстной, но въ случаѣ измѣненія его скорости, возмущеніе распространяется въ окружающемъ эфирѣ. Совершая періодическое движеніе, атомъ вызываетъ періодическое поперечное возмущеніе въ эфирѣ, которое распространяется съ постоянною скоростью во всемъ свободномъ пространствѣ. Около поверхности тѣлъ не образуется продольныхъ волнъ, т. к. эфиръ имѣетъ внутри тѣлъ стремленіе сжиматься.

Существующее же поперечное возмущеніе распространяется въ тѣлахъ со скоростью, меньшей, чѣмъ

скорость распространенія въ пустомъ пространствѣ, не зависящей отъ закона распредѣленія эфира внутри атома, т.-е. отъ его собственныхъ періодовъ, а также отъ періода самой свѣтовой волны.

Пользуясь тѣмъ же построеніемъ, Кельвинъ, какъ сказано, пытается дать картину элекрическихъ и магнитныхъ явленій, въ которой надѣется отвести мѣсто такъ же и явленію всемірнаго тяготѣнія. Эти послѣднія попытки остались, впрочемъ, безплодными и почти неизвѣстными.

Научная мысль къ тому времени уже успѣла пройти длинный путь въ совершенно другомъ направленіи, такъ что голосъ Кельвина, хотя могучій и повсюду проникавшій, уже не могъ ея догнать и остановить на ея новомъ и весьма трудномъ пути. Старый ученый полагалъ, что онъ предугадываетъ будущее и пытался склонить молодыя силы на ту дорогу, которую онъ считалъ правильной. Но для нихъ его ученіе представлялось отжившей стариной.

Непреодолимое упорство, съ которымъ Кельвинъ настаивалъ на теоріи упругаго эфира не было слѣдствіемъ уменьшенія его способностей, которое казалось бы возможнымъ у старика, перешедшаго восьмидесятилѣтній возрастъ; нѣтъ, механически-атомистическое міровоззрѣніе по необходимости вытекало изъ самой природы его генія.

Кельвинъ былъ еще очень молодъ, когда возникла теорія Максвелла, но тѣмъ не менѣе, она была ему знакома задолго до того времени, когда, благодаря успѣшнымъ опытамъ Герца, впервые на нее обратили вниманіе многіе ученые, которымъ она до того времени оставалась неизвѣстной. Еще до открытія Герца онъ написалъ то, что повторилъ много времени спустя: „Если бы я могъ понять, что такое

электромагнитная теорія свѣта, я былъ бы въ состояніи найти ея связь съ основными положеніями теоріи колебаній. Но такъ называемая электромагнитная теорія свѣта представляется мнѣ шагомъ назадъ, возвращеніемъ къ тому состоянію науки, которое предшествовало временамъ Френеля и его послѣдователей, давшихъ намъ вполнѣ и ясно опредѣленныя, чисто механическія представленія. Мимоходомъ я долженъ замѣтить, что нахожу въ этой теоріи лишь одно, вполнѣ доступное моему разуму, но именно это я и не могу считать пріемлемымъ". Онъ здѣсь намекаетъ на электрическое смѣщеніе, которое происходитъ перпендикулярно къ направленію распространенія электрической волны. Въ теченіе многихъ лѣтъ онъ писалъ то, что считалъ необходимымъ настойчиво повторить при изданіи своего труда „Baltimore Lecture", появившагося въ 1904 году: „Прежде всего", говоритъ онъ, „мы не должны обращать вниманія на сдѣланное нѣкоторыми учеными предложеніе разсматривать свѣтовой эфиръ какъ идеальную картину, созданную нами для объясненія оптическихъ явленій. Я думаю, что между нами и самой отдаленной звѣздой, должна существовать реальная матерія, и я полагаю, что свѣтъ дѣйствительно представляетъ форму движенія этой матеріи, а именно движенія такого рода, каковое описали намъ Юнгъ и Френель". Разсмотрѣвъ свойства эфира, онъ говоритъ далѣе: „Если это тѣло вамъ кажется загадкой, то я вамъ скажу, что шотландскій сапожный варъ также загадка, такая же, какъ и вся матерія, а эфиръ вовсе не представляется чѣмъ-нибудь еще болѣе загадочнымъ. Самыя сокровенныя своеобразности эфира намъ лучше извѣстны, чѣмъ свойства какого-либо другого рода матеріи. Свѣтовой эфиръ представляетъ крайне простую субстанцію. Основныя свойства

его—несжимаемость и твердость по отношенію къ весьма быстрымъ поперечнымъ колебаніемъ. Я думаю, что со временемъ намъ будетъ о свѣтовомъ эфирѣ значительно больше извѣстно, чѣмъ въ настоящее время. Но вы не должны, поэтому, утверждать, что мы о немъ ничего не знаемъ: въ такомъ случаѣ я вновь отвѣчу вамъ, что мы знаемъ о немъ больше, чѣмъ о воздухѣ, водѣ, стеклѣ или какомъ-либо иномъ тѣлѣ. Нѣтъ никакого сомнѣнія, что природа эфира, или, если угодно, его естественная исторія, несравненно проще, чѣмъ природа всякаго другаго тѣла".

„Впрочемъ,—прибавляетъ онъ—мы не должны слишкомъ долго теряться въ безплодныхъ изслѣдованіяхъ природы и свойствъ эфира, а должны примириться съ его свойствами, каковы они есть. Эфиръ представляется въ томъ видѣ, въ какомъ его описываютъ намъ великія факты волновой теоріи, образующей твердую основу всѣхъ нашихъ убѣжденій, относящихся къ свойствамъ эфира".

Кельвинъ уже давно и съ точностью зналъ, какую мысль онъ выражаетъ, когда пишетъ въ другомъ мѣстѣ: „Я думаю, что при современномъ состояніи нашихъ знаній, волновая теорія свѣта должна опираться, какъ на единственную пріемлемую основу, на динамику упругихъ тѣлъ".

Итакъ геній Кельвина застылъ въ прошедшемъ не вслѣдствіи его глубокой старости; съ юношескимъ пыломъ онъ оставался вѣренъ тѣмъ возлюбленнымъ идеямъ, которыя во всемъ приспособлялись къ требованіямъ его ума. Геній Кельвина былъ рожденъ для того, чтобы жить въ мірѣ, поддающемся чувственному воспріятію, въ мірѣ механическихъ явленій, съ которымъ онъ не могъ разстаться даже тогда, когда

этотъ міръ постепенно началъ вытѣсняться новыми физическими теоріями.

1888 годъ достоинъ величайшаго вниманія, какъ въ исторіи человѣчества вообще, такъ и въ исторіи науки.

Чудесныя открытія электромагнитныхъ волнъ Генрихомъ Герцемъ обратили вниманіе всѣхъ физиковъ на давно разработанное, великое научное твореніе, надъ которымъ до того времени рѣшались задумываться лишь немногіе выдающіеся ученые. Между двумя различными областями явленій, оптикой и электромагнитизмомъ, была найдена неожиданная, тѣсная связь и выражена въ простыхъ математическихъ формулахъ. Максвеллъ, авторъ этого великаго научнаго труда, разсматривалъ эфиръ Гюйгенса и Френеля какъ среду, передающую также и электромагнитныя дѣйствія, или, точнѣе говоря, вообще энергію, которая и является источникомъ названныхъ дѣйствій и которая различно воспринимается нашими инструментами и органами чувствъ. Въ упомянутомъ 1888 году опыты Герца доказали то самое, что за тридцать лѣтъ предвидѣлъ геній Максвелла, принявшаго и развившаго идеи другого величайшаго ученаго, Михаила Фарадея.

Наэлектризованное тѣло, магнитный полюсъ, электрическій токъ, создаютъ вокругъ себя поле, т.-е. они вліяютъ на другіе заряды электричества, другіе магниты, другіе токи, которые расположены внутри нѣкоторой, окружающей ихъ части пространства; эти вліянія подобны взаимодѣйствію двухъ матеріальныхъ массъ, напр. камня и земли. Фарадей находитъ, что эти вліянія не могли бы существовать, если бы пространство между зарядами электричества, магнитными полюсами или электрическими токами, дѣйствующими другъ

на друга, не содержало бы вещества, способнаго передавать указанныя вліянія. Силы взаимодѣйствія двухъ такихъ агентовъ нельзя разсматривать какъ признаки дѣйствія, которое одно изъ нихъ производитъ непосредственно вдаль; оно представляетъ результатъ измѣненія, вызваннаго каждымъ изъ этихъ агентовъ въ тѣлѣ, съ которымъ онъ непосредственно соприкасается, измѣненія, способнаго распространяться и проявлять свои дѣйствія во всѣхъ точкахъ этого тѣла въ опредѣленной закономѣрной формѣ и при соблюденіи необходимыхъ условій.

Такими промежуточными тѣлами или средами являются, напр., обыкновенныя изолирующія вещества: воздухъ, вода, сѣра и т. д., названныя Фарадеемъ поэтому діэлектриками. Но электрическія и магнитныя дѣйствія передаются также и въ совершенно пустомъ пространствѣ, вслѣдствіе чего мы должны предположить существованіе въ пустотѣ особаго діэлектрика, не поддающагося нашимъ обычнымъ изслѣдованіямъ; мы можемъ его назвать электромагнитнымъ эфиромъ.

Электрическія и магнитныя поля представляютъ ничто иное, какъ возникшія въ вышеназванной средѣ измѣненія, напр., натяженія, крученія и т. д.

Это воззрѣніе Фарадея оказалось весьма плодотворнымъ въ рукахъ Максвелла, который, какъ было сказано выше, изобразилъ его математическими формулами и сумѣлъ вывести изъ послѣднихъ замѣчательныя слѣдствія.

Предположивъ существованіе этого новаго эфира, Максвеллъ приложилъ къ нему уравненія гидродинамики, чтобы дать такое объясненіе, которое вполнѣ укладывалось бы въ рамкахъ научныхъ воззрѣній того времени, а именно объясненіе механическое: онъ слѣ-

лалъ попытку превратить электродинамику въ особую главу механики текучихъ тѣлъ. Мы не имѣемъ возможности даже въ общихъ чертахъ разсмотрѣть эту работу Максвелла, и ограничимся лишь немногими словами о томъ необычайномъ строеніи, которое онъ приписалъ эфиру для того, чтобы объяснить всѣ, весьма разнообразныя, извѣстныя въ электрологіи явленія. Онъ представлялъ себѣ эфиръ флюидомъ, состоящимъ изъ отдѣльныхъ частицъ, которыя онъ подраздѣлялъ на два разряда: частицы настоящаго эфира, способныя вращаться около симметрически расположенной оси, и другія, нѣсколько меньшія частицы, которыя лежатъ въ промежуткахъ между первыми, и которыя можно назвать фрикціонными, или, лучше, передаточными.

Онѣ служатъ для передачи вращательнаго движенія, безъ измѣненія направленія, отъ одной частицы перваго рода къ другой. Эти послѣднія частицы были имъ затѣмъ отождествлены съ элементарными электрическими зарядами, или атомами электричества, и такимъ образомъ, было найдено, что положительный или отрицательный зарядъ даннаго тѣла проявляется въ зависимости отъ того, содержитъ ли эфиръ, заключенный въ этомъ тѣлѣ, большее или меньшее количество передаточныхъ молекулъ сравнительно съ его нормальнымъ состояніемъ.

Передаточныя частицы могутъ свободно передвигаться внутри проводящаго тѣла, встрѣчая лишь одно препятствіе, аналогичное тренію, между тѣмъ какъ въ изолирующихъ тѣлахъ, т. е. въ діэлектрикахъ, онѣ могутъ выйти изъ опредѣленнаго положенія равновѣсія лишь въ томъ случаѣ, когда онѣ же развиваютъ реакціи, которыя противятся передвиженію, подобно тому, какъ упругія реакціи возникаютъ при деформированіи стальныхъ стержней.

Эти-то реакціи проявляются въ діэлектрикѣ, окружающемъ наэлектризованное тѣло и вызываютъ явленіе, называемое элетрической силой.

Нѣчто другое, своеобразное, представляетъ, по мнѣнію Максвелла, магнитный полюсъ, а именно вихрь т.-е. частицу эфира, которая вращается вокругъ своей оси съ крайне большой скоростью. Это вихревое движеніе сообщается, при непосредственномъ соприкосновеніи передаточнымъ молекуламъ, и заставляетъ ихъ вращаться въ обратномъ направленіи. Отъ нихъ движеніе распространяется на сосѣднія частицы эфира и т. д. Совокупность этихъ вихрей въ эфирѣ составляетъ то, что мы называемъ магнитнымъ полюсомъ.

Смѣщеніе передаточныхъ молекулъ, свободное въ проводникахъ и встрѣчающее препятствія въ непроводящихъ тѣлахъ, всегда образуетъ электрическій токъ (въ первомъ случаѣ токъ проводимости, во второмъ токъ смѣщенія), благодаря которому частицы собственно эфира, (т.-е. перваго рода) приводятся во вращательное движеніе, причемъ вокругъ тѣла, въ обоихъ случаяхъ, возникаетъ магнитное поле. Такимъ образомъ каждый электрическій токъ, а слѣд. и токъ смѣщенія, всегда сопровождается магнитнымъ полемъ.

Я не стану дальше останавливаться на описаніи этой теоріи, которая, несмотря на свое кратковременное существованіе, успѣла оказать большія услуги электрологіи; скажу теперь нѣсколько словъ о томъ окончательномъ видѣ его теоріи, до котораго Максвеллу удалось дойти столь длиннымъ и окольнымъ путемъ.

Прежде всего возникъ вопросъ: Требуется ли конечное время для того, чтобы эти измѣненія въ эфирѣ, возникновеніе электрическаго и магнитнаго полей, т.-е. состояніе натяженія и вихревое движеніе въ описанной картинѣ, возникли въ различныхъ точкахъ про-

странства? Другими словами, можемъ ли мы говорить о конечной скорости распространенія этихъ измѣненій въ данномъ полѣ?

Разбирая этотъ вопросъ, Максвеллъ пришелъ къ тому заключенію, что, въ построенной имъ теоріи, скорость распространенія представляется конечной, хотя и весьма большой; по его вычисленію, она равняется отношенію между употребляемыми въ физикѣ единицами количества электричества, а именно единицами электромагнитной и электростатической системъ.

Благодаря этому результату, который важенъ самъ по себѣ, удалось показать возможность возникновенія электромагнитныхъ волнъ, которыя во всѣхъ случаяхъ періодическаго перемѣннаго поля распространяются по закону, аналогичному закону распространенія свѣта и звука.

Но главная цѣнность этого результата заключается именно въ томъ спеціальномъ численномъ значеніи этой скорости, которое обнаружилось изъ вычисленій Максвелла.

Какъ уже было упомянуто, вычисленіе показало, что скорость распространенія электромагнитныхъ возмущеній въ Максвелловскомъ эфирѣ равна отношенію между единицами количества электричества въ двухъ системахъ, электромагнитной и электростатической. Еще ранѣе произведенные опыты показали, однако, что это отношеніе равно 3×10^{10} см. въ 1 секунду, т.-е. какъ разъ равно численному значенію скорости распространенія свѣта, выраженной въ тѣхъ же единицахъ.

Итакъ, скорость распространенія возмущеній въ электромагнитномъ эфирѣ Максвелла равняется скорости распространенія свѣтовыхъ волнъ по теоріи эфира, созданной Френелемъ!

Представляется ли такое совпаденіе простой случай-

ностью, или она является показателемъ тѣснаго сродства между двумя группами разнородныхъ явленій? Счастливая интуиція Максвелла не колебалась относительно отвѣта; онъ немедленно сумѣлъ оцѣнить огромное значеніе найденнаго результата и предвидѣть тотъ великій физическій законъ, который имъ раскрывается.

Но Максвеллу пришлось еще болѣе усложнить данную имъ модель эфира для того, чтобы приспособить ее къ новымъ условіямъ и требованіямъ и, до нѣкоторой степени, затуманить свой грандіозный синтезъ большимъ количествомъ разныхъ зубчатыхъ колесъ, и иныхъ передаточныхъ механизмовъ, которые по словамъ нѣкоторыхъ ученыхъ, были такъ запутаны, что читатель долженъ былъ чувствовать себя какъ бы затеряннымъ въ огромной, невѣдомой мастерской, полной таинственныхъ приборовъ, вмѣсто того чтобы свободно двигаться по пути на ту высоту, откуда возможно было бы охватить однимъ взглядомъ обширныя области разнородныхъ явленій природы.

Можетъ быть, это обстоятельство послужило причиной того, что безсмертный трудъ Максвелла не сразу нашелъ послѣдователей и того всеобщаго признанія, которые явились позже.

Нѣкоторое время спустя, сложная модель была снова заброшена. Но теорія Максвелла осталась неизмѣнной, подобно громадной пирамидѣ, которая и въ грядущія, далекія вѣка будетъ свидѣтельствовать передъ потомками о способности къ глубочайшему анализу явленій и о необычайномъ синтетическомъ талантѣ ея творца.

Безсмертная заслуга Герца состоитъ въ разработкѣ электромагнитной теоріи свѣта, независимо отъ какой-либо механической модели. Въ измѣненной теоріи эфиръ, хотя и сохраняется, но онъ уже оказывается чѣмъ-то

неяснымъ, неосязаемымъ и туманнымъ. Уравненія Максвелла даютъ подробный отчетъ о всѣхъ магнитныхъ, электрическихъ и оптическихъ явленіяхъ, въ то время какъ свойства, которыя можно было бы приписать эфиру, не даютъ сколько-нибудь пріемлемаго объясненія столь большого числа весьма сложныхъ явленій.

Герцъ считалъ эфиръ средой, передающей тѣ измѣненія, которыя называются „электрическимъ полемъ" и „магнитнымъ полемъ". Но намъ ничего не извѣстно о внутренней природѣ послѣднихъ; мы даже не имѣемъ права разсматривать ихъ какъ особыя формы движенія, или какъ явленія, основанныя на движеніяхъ; единственное, что можно о нихъ сказать, это то, что они описываются уравненіями Максвелла.

Вслѣдствіе этого, нѣкоторые ученые считали появленіе электромагнитной теоріи свѣта шагомъ назадъ. Въ сущности она уничтожила наши конкретныя представленія о вещественномъ мірѣ, построенныя на законахъ классической механики, и не дала намъ ничего кромѣ шести дифференціальныхъ уравненій, которыя послужили волшебнымъ ключемъ къ отвѣту на всѣ почти вопросы оптики и электромагнитизма.

Однако, успѣшные опыты Герца, Саразэна, Риги и многихъ другихъ, опровергли всѣ возраженія, и идеи Максвелла получили господствующее значеніе и покорили современную научную мысль.

Съ тѣхъ поръ прошло всего двадцать лѣтъ; а между тѣмъ уже подготовляется и назрѣваетъ новая глубочайшая эволюція, которая почти все разрушаетъ, не щадя даже элементарныхъ представленій, казавшихся намъ вѣковѣчно установленными. Самая идея объ эфирѣ кажется уничтоженной; но уравненія Максвелла остались, въ извѣстныхъ предѣлахъ, нетронутыми. Они до сихъ поръ сохраняютъ свою цѣнность и свое зна-

ченіе; это обстоятельство указываетъ на то, что уравненія **Максвелла** содержатъ и выражаютъ общія истины, выходящія за предѣлы физическихъ представленій, которыя можетъ создать намъ ограниченный разумъ.

Во главѣ основателей новаго ученія стоятъ имена **Лоренца** и **Эйнштейна**. Трудъ перваго можетъ быть названъ смѣлымъ, трудъ второго почти что дерзкимъ. Первый совершенно отказывается отъ той цѣли, о которой такъ долго мечтали: онъ низвергаетъ идола, передъ которымъ до него преклонялась мысль ученыхъ. Его воззрѣніе запрещаетъ гнаться за призракомъ механическаго объясненія природы эфира. Явленія электрологіи и оптики уже не могутъ быть объяснены явленіями обычной механики; наоборотъ, скорѣе послѣдняя оказывается лишь частью первой области явленій. Существуютъ лишь эфиръ и электричество: все же остальное основывается на отношеніяхъ или на измѣненіи во взаимоотношеніяхъ между названными двумя сущностями. Инертность матеріи, всемірное тяготѣніе, химическое сродство сводятся къ разнаго рода проявленіямъ тѣхъ отношеній, которыя существуютъ либо между атомами электричества, т.-е. электронами, либо между электронами и эфиромъ.

Эйнштейнъ поступаетъ болѣе радикально и вычеркиваетъ изъ теоріи **Лоренца** самую идею объ эфирѣ, и нѣкоторыя другія представленія, которыя до того времени считались наиболѣе незыблемыми основами механики и родственныхъ ей наукъ.

Здѣсь мы имѣемъ передъ собой весьма смѣлыя и крайне отвлеченныя воззрѣнія: только постепенно привыкая къ нимъ, можно дойти до ихъ точнаго пониманія, ибо они исключаютъ всякую возможность привести аналогію съ болѣе знакомымъ намъ, и потому

доступнымъ нашему пониманію міромъ механическихъ явленій. Вся классическая механика основана на системѣ весьма простыхъ уравненій, данныхъ Ньютономъ; въ нихъ не упоминается ни о какихъ иныхъ величинахъ, кромѣ силъ, дѣйствующихъ на матеріальныя точки системы, ускореній, которымъ эти точки подвержены и массъ этихъ отдѣльныхъ точекъ.

Названныя уравненія имѣютъ по существу слѣдующій весьма простой видъ:

Сила = ускоренію $\times$ массу.

Послѣдняя, т.-е. масса, представляется постоянной для каждой данной точки. Такихъ уравненій можно написать столько, сколько точекъ находится въ системѣ, и совокупность этихъ уравненій даетъ возможность найти всѣ тѣ состоянія, въ которыхъ послѣдовательно должна находиться система, т.-е. положенія различныхъ точекъ и скорости, которыми онѣ обладаютъ. Такимъ образомъ, указанныя уравненія даютъ возможность разрѣшить вопросъ о движеніи какой угодно механической системы.

Необходимо, однако, выяснить, какова же цѣнность и значеніе такого рѣшенія нашей проблемы.

Движеніе, которое мы разсматриваемъ, оказывается движеніемъ относительнымъ: мы имѣемъ дѣло съ движеніемъ системы относительно нѣкорыхъ точекъ, которыя мы принимаемъ за точки, находящіяся въ покоѣ и которыя мы назовемъ основными точками. Причина заключается въ слѣдующемъ. Вышеуказанныя уравненія содержатъ исключительно только значенія силъ, массъ и ускореній: числовыя значенія силъ не зависятъ отъ выбора основныхъ точекъ, по отношенію къ которымъ мы разсматриваемъ движенія системы. То же самое относится къ массамъ, вообще постояннымъ. Наконецъ, ускоренія представляютъ, какъ из-

вѣстно, ничто иное, какъ измѣненія, которымъ подвергаются скорости различныхъ частей системы въ теченіи единицы времени, т.-е. одной секунды. Такимъ образомъ можно, напр., сказать, что ускореніе данной точки равно 3, въ томъ случаѣ, если ея скорость въ теченіи одной секунды измѣняется на 3 см. въ секунду.

Для того, чтобы измѣрить ускореніе частей движущейся системы, необходимо отнести эти части къ другимъ опредѣленнымъ, основнымъ точкамъ; при этомъ легко убѣдиться, что ускоренія остаются тѣ-же, какъ въ случаѣ покоющихся основныхъ точекъ, такъ и въ томъ случаѣ, когда послѣднія движутся вмѣстѣ съ системой, обладая какой либо постоянной по величинѣ и по направленію скоростью. Какъ уже было сказано, ускоренія въ дѣйствительности опредѣляются измѣненіями скоростей точекъ системы въ послѣдовательные моменты, причемъ степень этихъ измѣненій отнюдь не увеличивается и не уменьшается, если скорости всѣхъ точекъ системы увеличить или уменьшить на одну и ту же величину.

Такимъ образомъ тѣ ускоренія, которыя слѣдуетъ ввести въ уравненія Ньютона, независимы отъ величины постоянной скорости, одинаковой для всѣхъ точекъ разсматриваемой системы и для основныхъ точекъ. Ясно, что если существуетъ такая общая скорость, то она не является въ упомянутыхъ уравненіяхъ и потому не будетъ содержаться въ ихъ рѣшеніи.

Въ то движеніе, которое мы разсматриваемъ, вовсе не входитъ общее равномѣрное поступательное движеніе: оно представляется лишь движеніемъ системы относительно основныхъ точекъ, которыя мы произвольно считаемъ покоющимися. Другими словами, законы классической механики независи-

мы отъ общаго прямолинейнаго равномѣрнаго движенія, которымъ могутъ обладать всѣ части системы. Иначе говоря, всякое явленіе старой классической механики совершается по законамъ независящимъ отъ того будетъ ли весь міръ, въ которомъ оно происходитъ, находиться въ состояніи покоя, или въ состояніи равномѣрнаго поступательнаго движенія.

Это правило названо въ механикѣ Ньютона принципомъ относительности. Но слѣдуетъ помнить, что этотъ принципъ не можетъ прилагаться къ тому случаю, когда основныя точки движутся неравномѣрно или по кривой линіи, т.-е. вообще съ какимъ либо ускореніемъ.

Законы, по которымъ движутся тѣла, наблюдаемыя на земномъ шарѣ, или въ нашей планетной системѣ, или, если угодно, въ части вселенной, доступной нашему наблюденію, остаются неизмѣнными въ томъ случаѣ, если земля, или планетная система или вселенная движется съ постоянной скоростью въ одномъ опредѣленномъ направленіи. Въ этомъ смыслѣ говорятъ, что познаніе абсолютнаго движенія намъ недоступно. Все сказанное относится къ области тѣхъ явленій, которыя описываетъ классическая механика.

Обращаемся къ основному вопросу: относится ли тотъ же принципъ и къ явленіямъ, происходящимъ въ эфирѣ?

Теорія Максвелла—Герца принимаетъ принципъ относительности. Она основывается на предположеніи, что весь эфиръ, находящійся внутри обыкновенныхъ тѣлъ, или въ тѣсномъ съ ними соприкосновеніи, вполнѣ принимаетъ участіе въ ихъ движеніи, такъ что свѣтовыя волны, которыя распространяются въ такомъ тѣлѣ,

сохраняютъ свою скорость относительно его точекъ, если тѣло приводится въ движеніе. Это значитъ, что свѣтовыя волны пріобрѣтаютъ относительно внѣшнихъ точекъ, не участвующихъ въ движеніи, скорость, равную геометрической суммѣ распространенія свѣтовыхъ волнъ относительно тѣла, черезъ которое онѣ проходятъ, и скорости движенія тѣла относительно внѣшнихъ неподвижныхъ точекъ. Однако вышеописанная гипотеза увлекаемаго эфира не всегда подтверждалась фактами. Вкратцѣ мы разсмотримъ главнѣйшія явленія, которыя противорѣчатъ теоріи Герца.

Наблюдая при помощи телескопа съ поверхности земли звѣзду, находящуюся въ направленіи, перпендикулярномъ къ направленію движенія земли, мы замѣтимъ, что установка телескопа зависитъ отъ передвиженія земли, причемъ мы должны наклонить телескопъ на небольшой уголъ по направленію движенія земли.

Это явленіе можно легко объяснить, если, согласно теоріи Френеля, предположить, что движеніе земли не имѣетъ вліянія на ходъ свѣтовыхъ лучей, или, другими словами, если предположить, что эфиръ не принимаетъ участія въ движеніи земли. Мы сперва предположимъ, что наблюдатель и телескопъ неподвижны. Если наблюдатель желаетъ, чтобы изображеніе звѣзды появилось въ центрѣ поля зрѣнія телескопа, послѣдній долженъ быть такъ установленъ, чтобы его ось (т.-е. прямая, проходящая черезъ центры объектива и окуляра) находилась въ направленіи хода лучей, т.-е. чтобы ось телескопа проходила черезъ звѣзду. Далѣе предположимъ, что безъ какой-либо перемѣны въ установкѣ, телескопъ сталъ двигаться вмѣстѣ съ наблюдателемъ по направленію, указанному стрѣлкой, (см. рис. 1). Между моментомъ, когда наблюдаемый лучъ пре-

ходитъ черезъ центръ O объектива, и моментомъ, когда онъ достигаетъ центра O_1 окуляра, протекаетъ столько времени, сколько требуется, чтобы лучъ прошелъ раз-

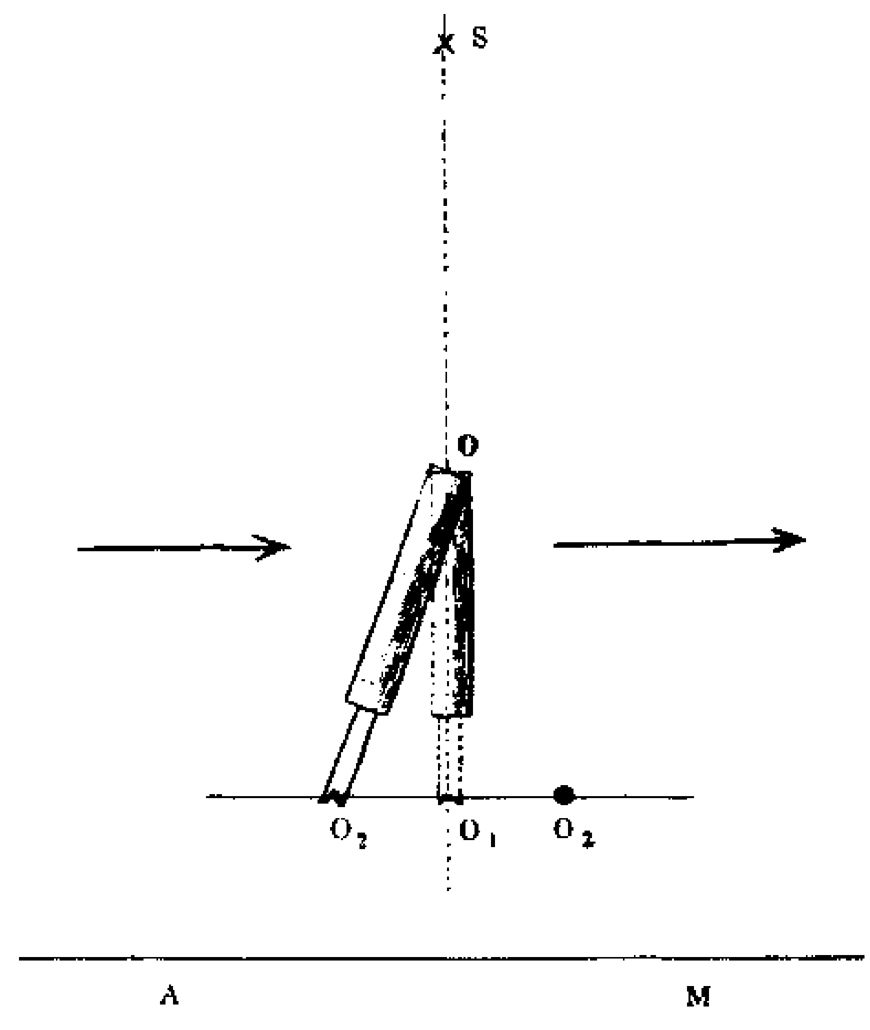


Рис. 1.

стояніе отъ O до O_1. За это время телескопъ подвинулся на небольшое разстояніе по направленію къ точкѣ M. Итакъ, если лучъ не увлекается телескопомъ по направленію движенія, т.-е. направо, то, дойдя до поверхности окуляра, онъ пройдетъ уже не черезъ центръ O_1, который перемѣстился въ O_2, а черезъ точку, ле-

жащую слѣва отъ центра окуляра. Для того, чтобы лучъ свѣта могъ пройти черезъ O_1, необходимо наклонить телескопъ на столько, чтобы точка O оставалась неподвижной, а точка O_1 перемѣстилась влѣво на разстояніе, равное O_1O_2, т.-е. на разстояніе, проходимое землею въ тотъ промежутокъ времени, который требуется, чтобы лучъ прошелъ разстояніе OO_1. Только при этихъ условіяхъ лучъ, вошедшій въ телескопъ черезъ O, выйдетъ изъ него черезъ точку O_1.

Путемъ простого вычисленія мы находимъ, что уголъ, на который наблюдатель долженъ наклонить телескопъ по направленію своего движенія, приблизительно равняется отношенію между скоростью боковото движенія и скоростью распространенія свѣта. Результаты, полученные изъ наблюденій для величины этого наклона (описанное явленіе названо аберраціей свѣта), отличаются такой большой точностью, что ими можно было пользоваться для опредѣленія скорости свѣта, причемъ полученная числовая величина вполнѣ соотвѣтствовала велгчинамъ, полученнымъ при измѣреніяхъ, произведенныхъ по другимъ методамъ.

Итакъ, мы можемъ согласиться съ Френелемъ въ томъ, что эфиръ, находящійся внутри телескопа, остается неподвижнымъ, когда телескопъ передвигается въ пространствѣ; другими словами во время перемѣщенія телескопа, черезъ него непрестанно проходитъ потокъ эфира по направленію наклонному къ его оси, какъ проходилъ бы черезъ него потокъ воздуха, если бы стѣнки телескопа были сдѣланы не изъ сплошного металлическаго листа, а изъ сѣтки, причемъ весь приборъ перемѣщался бы при помощи движущагося въ воздухѣ прибора, съ которымъ онъ скрѣпленъ. Такимъ образомъ, явленіе аберраціи противорѣчитъ, по мнѣнію

Френеля, гипотезъ объ эфирѣ, движущемся вмѣстѣ съ тѣломъ, въ которомъ онъ содержится.

Чтобы точнѣе ознакомиться съ кинематическимъ взаимотноошеніемъ между эфиромъ и матеріей, мы разсмотримъ, что происходитъ съ эфиромъ, находящимся внутри жидкихъ или твердыхъ тѣлъ, когда послѣднія движутся съ постоянной скоростью. Какъ извѣстно, пришлось допустить, что эфиръ, заключающійся въ газообразныхъ тѣлахъ, обладаетъ почти такими же свойствами, какъ и эфиръ свободный. Другими словами, мы должны узнать, останется ли распространеніе луча независимымъ отъ движенія земли, если мы наполнимъ телескопъ водой, спиртомъ, или какимъ-либо инымъ прозрачнымъ тѣломъ, подобно тому какъ путь луча не измѣняется, подъ вліяніемъ воздуха, находящагося въ трубѣ.

Если бы скорость распространенія свѣта внутри телескопа, по какой либо причинѣ уменьшилась, то увеличилось бы смѣщеніе центра окуляра по направленію движенія земли за то время, въ теченіе котораго лучъ пробѣгаетъ разстояніе отъ O до O_1 и, такимъ образомъ, увеличился бы, очевидно, и уголъ аберраціи. Измѣреніе скорости луча въ водѣ и другихъ жидкостяхъ, показало, что въ такой средѣ скорость распространенія свѣта меньше, чѣмъ въ воздухѣ, или въ пустотѣ; она равняется скорости распространенія въ пустотѣ, дѣленной на коэффиціентъ преломленія тѣла, т.-е. на величину, которая всегда больше единицы. Поэтому приходится предположить, что если мы наполнимъ телескопъ водой, или какой-либо другой жидкостью, то уголъ аберраціи (при неподвижномъ эфирѣ) увеличится во столько разъ, во сколько коэффиціентъ преломленія больше единицы. Такой опытъ былъ сдѣланъ, но онъ далъ отрицательный результатъ, такъ какъ была

снова найдена аберрація, причемъ ея уголъ оказался равнымъ углу аберраціи, полученному при пустомъ телескопѣ.

Итакъ, въ водѣ, или въ какомъ либо иномъ лучепреломляющемъ тѣлѣ, эфиръ не находится въ состояніи полнаго покоя, когда тѣло перемѣщается; съ другой стороны, мы не можемъ сказать, что онъ вполнѣ увлекается средой при ея движенія, ибо въ этомъ случаѣ при наполненномъ телескопѣ аберрація не должна была бы вовсе наблюдаться.

Какъ было сказано, Френель вывелъ изъ аналогичныхъ опытовъ заключеніе, что все количество эфира находящагося внутри вѣсомаго тѣла, состоитъ изъ двухъ частей: изъ свободнаго эфира, остающагося неподвижнымъ и занимающаго одно и то же пространство, какъ внутри тѣлъ, такъ и въ пустотѣ, и изъ эфира, связаннаго съ тѣломъ и съ нимъ вмѣстѣ движущагося. Послѣдній составляетъ дробную часть эфира въ тѣлѣ, равную $\frac{n^2-1}{n^2}$. Такимъ образомъ, скорость, съ которой свѣтъ движется вмѣстѣ съ вещественнымъ тѣломъ, не равняется скорости u тѣла, но составляетъ ея часть, равную $\frac{n^2-1}{n^2 u} u$. Однако, описанные опыты не могли имѣть рѣшающаго значенія для взглядовъ Френеля. Стоксъ предложилъ и защищалъ объясненіе вышеуказаннаго явленія, основываясь на предположеніи, что эфиръ вполнѣ увлекается движущимся тѣломъ. Но, благодаря нѣкоторымъ теоретическимъ затрудненіямъ это предположеніе оказалось непріемлемымъ для большинства ученыхъ.

Физо произвелъ весьма остроумный и рѣшающій опытъ, при помощи котораго ему удалось опредѣлить разность скоростей распространенія свѣта въ двухъ

трубахъ, черезъ которыя пропускался весьма быстрый потокъ воды, причемъ въ одной трубѣ вода текла по направленію распространенія луча, во второй—по направленію противоположному. Основываясь на вышеуказанныхъ результатахъ, слѣдуетъ предположить, что скорость распространенія свѣта въ двухъ трубахъ должна быть различной, причемъ въ первой трубѣ она равна $V+0,43u$ [1]), во второй $V-0,43u$; опытъ вполнѣ подтвердилъ это предсказаніе. Когда вода была замѣнена воздухомъ, то увлеченія эфира болѣе не наблюдалось. Описанныя явленія, очевидно, противорѣчили основному, предположенію электродинамики Герца, относительно движущихся тѣлъ, а именно гипотезѣ полнаго увлеченія эфира [2]).

Такимъ образомъ возникла необходимость дополнить электромагнитную теорію, вводя необходимыя измѣненія въ ея основы, и Лоренцъ взялся за эту трудную задачу. Два пути оставались открытыми для электромагнитной теоріи; можно было предположить, что эфиръ, въ той степени, какую обнаруживаетъ опытъ, увлекается движущейся матеріей, или же допустить, что эфиръ при всѣхъ условіяхъ остается неподвижнымъ. Первое предположеніе можетъ показаться болѣе естественнымъ, но и оно не свободно отъ нѣкоторыхъ затрудненій, которыя можно было легко предугадать; вслѣдствіе этого пришлось отказаться отъ него, и Ло-

---

[1]) Дробь $\frac{n^2-1}{n^2}$ для воды равняется 0,43, такъ какъ коэффиціентъ преломленія ея n равенъ 1,33.

[2]) Однако, весьма важно установить, что эти опыты не противорѣчатъ принципу относительности, ибо скорости перемѣщенія, которыя въ изслѣдованныхъ случаяхъ вліяютъ на скорость свѣта, суть скорости относительныя, т.-е. скорости наблюдателя относительно источника свѣта, или среды относительно источника и наблюдателя.

ренцъ построилъ теорію на второмъ изъ вышеуказанныхъ предположеній. Какъ уже было неоднократно сказано, результаты, достигнутые на этомъ пути, оказались въ высшей степени странными. Тѣмъ не менѣе, однако теоретики полагаютъ, что они находятся на вѣрномъ пути, и потому они не считаютъ нужнымъ начать дѣло сызнова, и испробовать правильность другого пути. Основное представленіе первоначальной теоріи Лоренца заключается, въ немногихъ словахъ, въ слѣдующемъ.

Эфиръ покоится въ пространствѣ; онъ не можетъ подвергаться дерформаціямъ и его части не допускаютъ, относительнаго смѣщенія. Подобно эфиру Кельвина онъ все проникаетъ и находится также въ мѣстахъ, занятыхъ вѣсомой матеріей. Эфиръ не обладаетъ никакими другими свойствами, кромѣ способности передавать двѣ величины, удовлетворяющія Масвелловскимъ уравненіямъ, а именно электрическое смѣщеніе и магнитную силу. Кромѣ эфира существуетъ, внутри его, электричество, имѣющее зернистое строеніе. Атомы электричества, или „электроны" могутъ быть двухъ родовъ, положительные и отрицательные. Въ сущности эфиръ представляетъ ничто иное, какъ ту среду, въ которой расположены тождественные между собою электроны. Состояніе даннаго количества эфира вполнѣ опредѣляется числомъ содержащихся въ немъ электроновъ, ихъ относительнымъ расположеніемъ и ихъ скоростями. Возмущенія, распространяющіяся въ эфирѣ, т.-е. электрическое смѣщеніе и магнитная сила, суть ничто иное, какъ нарушенія динамическихъ состояній электроновъ, заключающихся въ эфирѣ. Другія извѣстныя намъ силы должны происходить изъ аналогичныхъ источниковъ. Движеніе одной или нѣсколькихъ элементарныхъ зарядовъ составляетъ электрическій токъ и вызываетъ магнитное поле.

На основаніи извѣстнаго закона электрологіи, выведеннаго изъ опыта, оказывается, что каждый отдѣльный электронъ обладаетъ электромагнитной инертностью, вполнѣ аналогичной инертности матеріальныхъ массъ. Сама же матерія представляется придаткомъ, безъ котораго мы сумѣемъ обойтись, когда увеличатся наши познанія природы положительныхъ электроновъ; возможно, что въ этомъ случаѣ мы будетъ въ состояніи свести всю инертность матеріальныхъ атомовъ къ инертности электрическихъ зарядовъ. Такимъ образомъ въ будущемъ механика превратится въ особую главу электродинамики. Теорія Лоренца оказалась въ высшей степени плодотворной, благодаря тому, что всѣ свойства матеріи, играющія важную роль въ оптикѣ и въ электромагнитизмѣ, по этой теоріи объясняются измѣненіями положеній и относительными движеніями электроновъ.

Принявъ во вниманіе движеніе системы, можно далѣе развить теорію, такъ что она даетъ полное объясненіе явленій аберраціи въ воздухѣ и во всякой другой средѣ, а также опыта Физо, относящагося къ случаю распространенія свѣта въ тѣлѣ, которое движется относительно наблюдателя. Лоренцъ достигаетъ послѣдняго результата, вводя совершенно новое понятіе о „мѣстномъ времени".

По мнѣнію Лоренца, каждая точка движущейся системы имѣетъ свое время, которое не совпадаетъ съ временемъ системы, неподвижной относительно эфира. Отсюда вытекаетъ, что тѣ опыты, которые, какъ сперва казалось, свидѣтельствовали о частичномъ увлеченіи эфира, могутъ быть объяснены, допуская полную неподвижность эфира.

Однако, построенная такимъ путемъ картина міра не обладаетъ вышеупомянутымъ общимъ свойствомъ,

которое господствуетъ надъ всей классической механикой. Теорія Лоренца не согласуется съ принципомъ относительности. Другими словами, общая для всей системы скорость перемѣщенія, по первоначальной теоріи Лоренца, не остается безъ вліянія на происходящія въ системѣ оптическія и электромагнитныя явленія. Послѣднія, въ противоположность механическимъ явленіемъ, должны обладать способностью не только обнаруживать относительное движеніе источника свѣта, среды и наблюдателя, но и обнаружить абсолютную скорость перемѣщенія системы.

Отсюда вытекаетъ, что во время ѣзды на пароходѣ или въ поѣздѣ, я имѣю возможность при помощи простыхъ оптическихъ или электрическихъ измѣреній, опредѣлить скорость, съ которой я перемѣщаюсь вмѣстѣ съ моими апаратами. Но мало того; при помощи тѣхъ же измѣреній, произведенныхъ, напр., въ этой комнатѣ, мы должны быть въ состояніи найти полную скорость движенія комнаты черезъ эфиръ; другими словами: такъ какъ эфиръ находится въ покоѣ, мы должны имѣть возможность опредѣлить „абсолютную скорость" перемѣщенія этой комнаты въ пространствѣ.

Слѣдуетъ, однако, замѣтить, что изъ теоріи явствуетъ чрезвычайная трудность подобныхъ изслѣдованій, даже при современныхъ средствахъ производить измѣренія. Дѣло въ томъ, что явленія получающіяся какъ слѣдствіе общаго поступательнаго движенія со скоростью V, находятся въ зависимости отъ квадрата отношенія V къ скорости свѣта c. Но такъ какъ извѣстныя до сихъ поръ скорости матеріальныхъ системъ всѣ весьма малы [1]) сравнительно съ громадною ско-

[1]) Большія скорости были найдены лишь для нѣкоторыхъ частичекъ, движущихся при электрическомъ разрядѣ въ раз-

*

ростью свѣта, то и подлежащія измѣренію дѣйствія, которыя зависятъ отъ квадрата отношенія величинъ V и c, ничтожно малы.

Не смотря на это, знаменитый американскій ученый, Майкельсонъ, сумѣлъ придумать способъ, при помощи котораго представлялось возможнымъ замѣтить вліяніе перемѣщенія земли на скорость распространенія свѣта, измѣряемой на ея поверхности. Этотъ опытъ, произведенный сначала однимъ Майкельсономъ (Michelson), а затѣмъ повторенный имъ совмѣстно съ Морлеемъ (Morley), съ полнымъ правомъ пользуется всеобщею извѣстностью и величайшею славою.

По существу онъ сводится къ слѣдующему: Пучекъ лучей, исходящій изъ источника S (рис. 2), встрѣчаетъ на своемъ пути прозрачную стеклянную пластинку L, установленную подъ угломъ въ 45° къ направленію лучей которые разлагаются на двѣ части; первая часть, образовавшаяся вслѣдствіе отраженія отъ пластинки, распространяется по направленію LA; вторая проходитъ черезъ пластинку и идетъ затѣмъ по направленію прямой LB. Въ точкахъ A и B, лежащихъ на равныхъ разстояніяхъ отъ L, находятся два зеркала, установленныя перпендикулярно къ направленіямъ лучей; они въ свою очередь, отражаютъ лучи къ точкѣ L. Оба пучка накладываются одинъ на другой вдоль прямой LO и, такимъ образомъ, даютъ возможность получить интерференціонныя полосы.

По расположенію этихъ полосъ мы можемъ съ большой точностью сравнить количества времени, которыя по-

---

рѣженныхъ газахъ или испускаемыхъ радіоактивными веществами; здѣсь были найдены даже такія скорости, которыя равнялись 9/10 скорости свѣта.

надобились для перваго и для второго лучей, чтобы пробѣжать туда и обратно пути LA и LB. Если одинъ изъ путей, напр. LB, расположенъ по направленію движенія земли, то время, необходимое для того, чтобы лучъ два раза пробѣжалъ разстояніе LB, должно, по

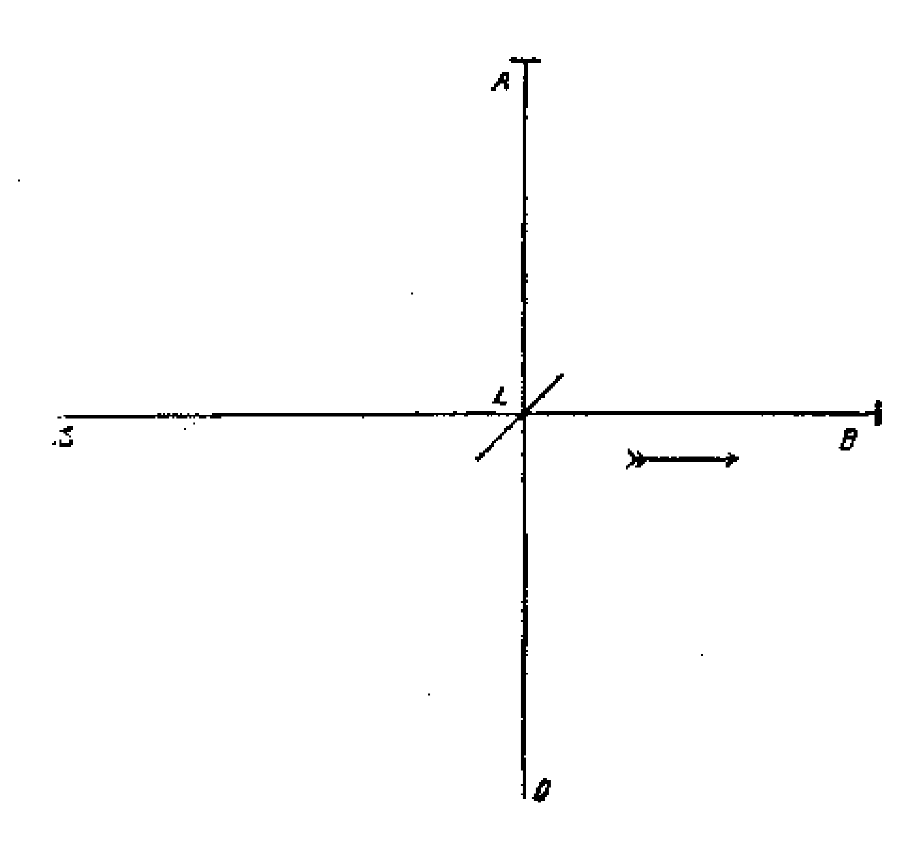


Рис. 2.

теоріи Лоренца, быть больше, чѣмъ время прохожденія другимъ лучемъ разстоянія AL и обратно. Для опредѣленія предполагаемой теоріи разности временъ, достаточно переставить LA и LB, т.-е. повернуть весь приборъ на 90°, такъ чтобы LA, оказалось лежащимъ въ направленіи движенія земли, въ которомъ сначала былъ установленъ путь LB. Такимъ образомъ разность

временъ мѣняетъ знакъ, и потому расположеніе интерференціонныхъ полосъ должно измѣниться.

Но Майкельсонъ и Морлей утверждаютъ, что ожидаемый, по теоріи Лоренца, и тщательно искомый ими результатъ не обнаружился, несмотря на необычайную чувствительность ихъ прибора, который былъ бы въ состояніи обнаружить даже смѣщеніе полосъ, въ сто разъ меньшее того, которое долженъ былъ дать выше описанный опытъ. Можно было думать, что теорія Лоренца уже никогда не будетъ въ состояніи оправиться отъ нанесеннаго ей такимъ образомъ удара. Но оказалось не такъ.

Лоренцъ нашелъ въ результатѣ опытовъ Майкельсона не опроверженіе своей теоріи, а доказательство другого, ранѣе никѣмъ еще не предполагавшаго факта. По его мнѣнію этотъ отрицательный результатъ обусловливается укороченіемъ, которое испытываютъ всѣ тѣла по направленію своего движенія [2]). Время распространенія свѣта не одинаковое въ направленіи перемѣщенія земли и въ направленіи, къ нему перпендикулярномъ, какъ это и требуется теоріей; но, не смотря на это, мы все-таки не имѣемъ возможности найти искомой разности, такъ какъ наши приборы укорачиваются въ направленіи движенія земли, вслѣдствіи чего разстояніе, пробѣгаемое лучемъ уменьшается въ томъ же смыслѣ, и, такимъ образомъ, времена прохожденія обоихъ лучей дѣлаются одинаковыми. Благодаря этому неожиданному и поразительному уравниванію временъ, причина котораго затѣмъ была введена въ общую форму измѣненной теоріи Лоренца, отъ насъ снова ускользаетъ возможность замѣтить абсо-

[2]) Почти въ то же самое время указанная гипотеза была предложена и Фицжеральдомъ (Fitz-Gerald).

лютное движеніе, и принципъ относительности вновь утверждаетъ свое, какъ казалось, потерянное господство.

Можно спорить о допустимости подобнаго научнаго пріема, ибо гипотеза уменьшенія размѣровъ тѣлъ можетъ показаться настолько же произвольно построенной, насколько она представляется необычайной и смѣлой! Но, тѣмъ не менѣе, почти всѣ теоретики стали считать опытъ Майкельсона не опроверженіемъ теоріи Лоренца, а доказательствомъ измѣненія размѣровъ движущагося тѣла!

Эйнштейнъ сумѣлъ украсить научное зданіе теоріи Лоренца, и, придавъ ему новую форму, сдѣлать его болѣе прочнымъ и жизнеспособнымъ. Работа Эйнштейна была усовершенствована молодымъ выдающимся ученымъ, къ сожалѣнію преждевременно скончавшимся, Германомъ Минковскимъ. Обоимъ ученымъ удалось придать теоріи Лоренца великолѣпную форму, которою нынѣ восхищаются и увлекаются выдающіеся умы.

Но иногда красота формы можетъ повредить развитію содержанія. Теорія относительности, какъ ее называютъ, начинаетъ въ томъ видѣ, который она нынѣ приняла, переходить въ руки математиковъ, изъ которыхъ не каждый захочетъ или сможетъ надлежащимъ образомъ имѣть въ виду то строго физическое значеніе, которымъ должны обладать всѣ элементы теоріи, а также ту существенную, чисто физическую цѣль, для которой была построена упомянутая теорія.

Сначала Лоренцъ предполагалъ, что существуетъ возможность построить обоснованную и стройную теорію явленій, не основывая ея на принципѣ относительности. Въ этомъ, по мнѣнію Эйнштейна, и заключалась его ошибка. Зданіе было готово, но оказалось не устойчивымъ, именно потому, что оно не было по-

строено на твердомъ, какъ гранитъ, основаніи принципа относительности.

Отвѣчая на вопросъ Майкельсона и другихъ ученыхъ природа сама указала на это обстоятельство, и самому Лоренцу пришлось соотвѣтственно измѣнить свою теорію. Такимъ образомъ, по Эйнштейну, принципъ относительности долженъ служить исходнымъ началомъ, а затѣмъ только можетъ быть на немъ построена теорія Лоренца.

Итакъ, по мнѣнію Эйнштейна, равномѣрное и одинаковое для всей системы поступательное движеніе должно остаться безъ вліянія на какія бы то ни было изслѣдуемыя явленія; это относится не только къ явленіямъ механическихъ, но ко всему міру физическихъ явленій; всѣ оптическія и электромагнитныя явленія не должны мѣняться, если система, въ которой они происходятъ, выходитъ изъ состоянія неподвижности и начинаетъ двигаться прямолинейно съ какою-либо постоянною скоростью.

При подобномъ ходѣ мыслей, предположеніе объ абсолютно неподвижной средѣ, наполняющей все пространство, теряетъ всякій смыслъ, а потому и право существованія: законы всѣхъ явленій, въ дѣйствительности, остаются одинаковыми, какъ въ томъ случаѣ, если они наблюдаются въ системѣ абсолютно неподвижной относительно указанной среды, такъ и въ томъ случаѣ, если они происходятъ въ системѣ, обладающей относительно этой среды какимъ угодно поступательнымъ, равномѣрнымъ движеніемъ. Такимъ образомъ, среда не имѣетъ никакого вліянія на чисто феноменологическую сторону механизма явленій.

Изъ постулата относительности можно сдѣлать вы-

водъ, что скорость распространенія свѣта въ равномѣрно движущейся системѣ должна быть одинаковой во всѣхъ направленіяхъ. Такой опытъ, какой произвели Майкельсонъ и Морлей, не могъ и не долженъ былъ дать положительнаго результата, такъ какъ нѣтъ смысла представлять себѣ скорость свѣта не одинаковой въ различныхъ направленіяхъ.

Къ этому выводу Эйнштейнъ прибавляетъ второй постулатъ, независимый отъ перваго и не навязанный фактами; онъ гласитъ: Во всякой системѣ, движущейся съ произвольной, но непремѣнно постоянной скоростью, свѣтъ распространяется въ пустомъ пространствѣ всегда съ одинаковой скоростью; другими словами, скорость распространенія свѣта въ пустомъ пространствѣ есть міровая постоянная.

Слѣдствія, вытекающія изъ этихъ двухъ постулатовъ, въ особенности изъ второго, представляются совершенно необычайными; однако они содержатъ все, что предполагалъ Лоренцъ, въ томъ числѣ даже и уменьшеніе размѣра тѣлъ въ направленіи ихъ движенія, т.-е. мысль, казавшуюся сначала искусственной и произвольно построенной.

Прежде всего, эти постулаты уничтожаютъ наши обычныя представленія о времени и даютъ смыслъ и жизнеспособность довольно туманно описанному въ теоріи Лоренца понятію о мѣстномъ времени. Обычное представленіе о „времени" вполнѣ основывается на двухъ первоначальныхъ понятіяхъ объ одновременности и о послѣдовательности событій. Пользуясь этими двумя основными понятіями, мы можемъ распредѣлить „во времени" происходящія вокругъ насъ

событія. Созданный нами, такимъ образомъ, порядокъ событій остается неизмѣннымъ и обладаетъ абсолютнымъ значеніемъ въ томъ случаѣ, если тѣ основныя понятія, на которыхъ мы основывали наше распредѣленіе, сами останутся незыблемо справедливыми. Въ противномъ случаѣ распредѣленіе явленій во „времени" не будетъ абсолютнымъ; какъ всѣ доступныя намъ величины, и „время" окажется лишь тѣмъ-то относительнымъ.

Нетрудно убѣдиться, что принятіе принципа постоянства скорости распространенія свѣта приводитъ къ тому, что понятія объ одновременности и послѣдовательности явленій совершенно теряютъ свое абсолютное значеніе, и что одни и тѣ же два явленія могутъ представляться одному наблюдателю одновременными, другому послѣдовательными, а третьему—хотя также послѣдовательными, но слѣдующими одно за другимъ въ обратномъ порядкѣ.

Представимъ себѣ, что два наблюдателя A и B желаютъ изслѣдовать нѣкоторыя явленія, происходящія на солнцѣ и на лунѣ. Предположимъ, что оба названныхъ тѣла въ данный моментъ движутся въ пространствѣ съ одинаковой постоянной скоростью по направленію отъ точки M къ точкѣ J. Наблюдатели занимаютъ среднее положеніе между M и J, причемъ A остается неподвижнымъ, между тѣмъ какъ B перемѣщается вмѣстѣ съ солнцемъ и луной. Первый наблюдатель видитъ, что оба небесныхъ тѣла перемѣщаются относительно той точки, въ которой онъ находится, такъ какъ они для него обладаютъ относительномъ движеніемъ. Наблюдатель B не можетъ замѣтить движенія системы, ибо разстояніе, отдѣляющее его отъ каждаго изъ названныхъ тѣлъ, остается неизмѣннымъ.

Положимъ, что наблюдатель A получаетъ два сигнала, одинъ съ солнца, другой съ луны, съ промежуткомъ времени t между ними. Если ему извѣстны положенія обоихъ тѣлъ въ каждый данный моментъ и скорость c, съ которой свѣтъ распространяется, то онъ легко можетъ вычислить время, въ теченіе котораго каждый изъ двухъ сигналовъ пробѣгаетъ соотвѣтствующее разстояніе, и такимъ образомъ, опредѣлить моменты, когда каждое изъ этихъ явленій возникло, если онъ только съ точностью опредѣлилъ тѣ моменты, когда сигналы до него дошли. Такимъ образомъ ему будетъ весьма легко распредѣлить во времени оба наблюденныхъ явленія; предположимъ, что ему удалось установить одновременность обоихъ событій.

Наблюдатель B также получаетъ оба сигнала съ опредѣленнымъ промежуткомъ времени t_1 если ему извѣстны разстоянія BS и BM, которыя суть величины постоянныя, а также скорость распространенія свѣта, которая по мнѣнію Эйнштейна всегда одинакова т.-е, равна c, то наблюдатель будетъ въ состояніи опредѣлить время прохожденія каждымъ сигналомъ соотвѣтствующаго пути. Такимъ образомъ, ему придется ввести поправку и въ тѣ показанія хромометра, которыя онъ отмѣчалъ въ моменты прибытія сигналовъ, и ему удастся такимъ способомъ распредѣлить оба явленія во времени, подобно тому какъ это было сдѣлано наблюдателемъ A. Однако, оба результата не могутъ совпасть по той причинѣ, что наблюдатель B не знаетъ, что онъ движется въ пространствѣ со скоростью v и не принимаетъ во вниманіе этого важнаго обстоятельства, вліяющаго на его измѣренія. Наблюдатель B перемѣщается въ пространствѣ въ то время, какъ сигналы проходятъ отъ M и S по направленію къ A и B. Если свѣтъ распространяется въ промежуточной средѣ съ

постоянной скоростью, то время, необходимое для того чтобы пучекъ свѣта прошелъ отъ точки S до наблюдателя B, сократится, между тѣмъ какъ время прохожденія пути MB, наоборотъ, удлинится, такъ какъ наблюдатель B приближается къ тому мѣсту, гдѣ находилось S въ моментъ испусканія сигнала и удаляется отъ того мѣста, отъ котораго вышелъ пучекъ лучей, испускаемый источникомъ M. Удлиненіе и ускореніе будутъ зависѣть отъ того положенія, которое наблюдатель B занимаетъ относительно точекъ M и S и отъ скорости перемѣщенія всей системы.

Отсюда вытекаетъ, что если описанныя явленія воспринимаются неподвижнымъ наблюдателемъ какъ одновременныя, то они таковыми не могутъ представляться движущемуся наблюдателю. Распредѣленіе явленій во времени зависитъ отъ движенія системы. Мы можемъ получать свѣдѣнія о явленіяхъ, происходящихъ вдали отъ насъ, только при помощи свѣта, т.-е. электромагнитныхъ возмущеній. Къ нашему сужденію о времени должно прилагаться то же самое, что было сказано относительно сужденій о времени наблюдателей A и B. Оно имѣетъ значеніе исключительно только для насъ самихъ, такъ какъ порядокъ, въ которомъ мы распредѣляемъ событія во времени зависитъ отъ положенія, занимаемаго нами въ пространствѣ, и отъ скорости перемѣщенія системы, къ которой мы принадлежимъ.

Для лучшаго разъясненія этого весьма важнаго обстоятельства и для нагляднаго объясненія основныхъ мыслей Эйнштейна, относящихся къ понятіямъ о времени и о пространствѣ, я считаю необходимымъ вставить здѣсь одно разсужденіе математическаго, хотя и вполнѣ элементарнаго характера. Три наблюдателя A, B и C (рис. 3) находятся на платформѣ, движущейся съ постоянной скоростью по направленію AB. Они

измѣряютъ скорость свѣта во взаимно перпендикулярныхъ направленіяхъ AB и AC.

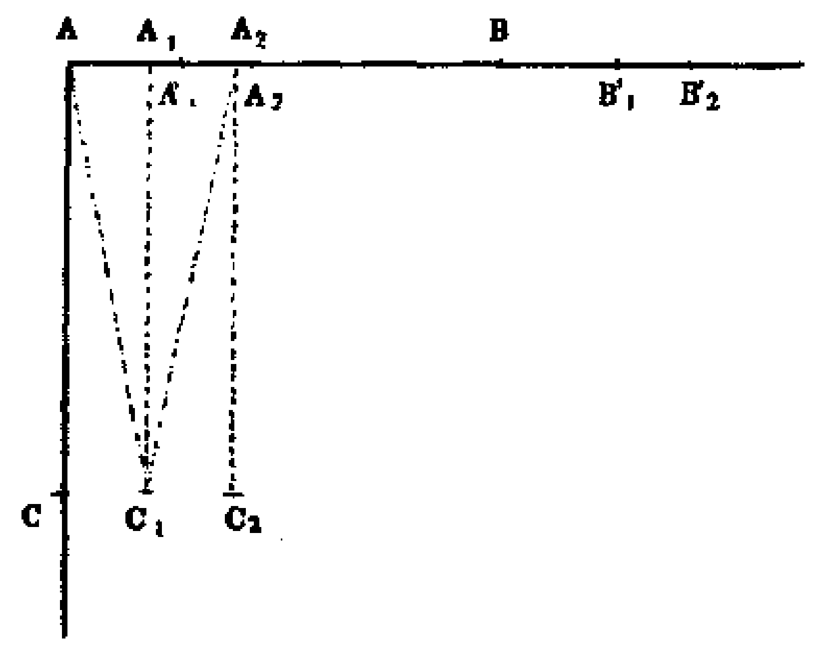


Рис. 3.

Наблюдатель O, не участвующій въ движеніи платформы M этихъ трехъ наблюдателей, получаетъ отъ нихъ, какимъ-либо способомъ, извѣстія о результатахъ ихъ измѣреній. Если бы наблюдатели A, B и C имѣли весьма хорошіе часы, обладающіе совершенно одинаковымъ ходомъ, то они могли бы узнать скорость свѣта, дѣлая на этихъ часахъ отсчеты въ моментъ испусканія и въ моментъ прихода свѣтового пучка, если только можно принять, что разстоянія AB и AC извѣстны, или, что еще проще, равны между собой.

Если часы вначалѣ не шли одинаково, какъ мы предполагали, то наблюдатели могутъ сперва сдѣлать ихъ показанія тождественными при помощи нѣсколько сложнаго способа, а затѣмъ уже получить и искомую скорость свѣта, дѣйствуя слѣдующимъ образомъ. Наблюдатель A посылаетъ свѣтовой сигналъ по напра-

вленію къ наблюдателю C въ тотъ моментъ, когда его часы показываютъ ровно 0^h. Когда наблюдатель C видитъ сигналъ, его часы показываютъ, напр., $0^h 25^s$. Пучекъ свѣта падаетъ на зеркало, которое наблюдатель C установилъ такъ, чтобы лучъ отразился и вернулся снова къ наблюдателю A. Въ этотъ моментъ часы послѣдняго показываютъ, напр., $0^h 40^s$; отсюда онъ заключаетъ, что наблюдатель C получилъ сигналъ на $\frac{40}{2}$ сек. послѣ выхода этого сигнала, и заключаетъ, что ходъ его часовъ совпадетъ съ ходомъ часовъ наблюдателя C, въ томъ случаѣ, если въ моментъ, когда наблюдатель C получилъ сигналъ, его часы показывали $0^h 20^s$. Наблюдатель A сообщаетъ этотъ результатъ наблюдателю C, который перемѣщаетъ стрѣлки своихъ часовъ на 5 секундъ назадъ. Такимъ образомъ, наблюдатель C будетъ обладать измѣрителемъ времени, а также и мѣрою времени, тождественною съ тѣми, которыя имѣетъ наблюдатель A. Если, какъ уже было предположено, наблюдателямъ A и C кромѣ того извѣстно разстояніе AC, то они найдутъ скорость *c* свѣта, раздѣливъ это разстояніе на то время, въ теченіи котораго оно было пройдено свѣтовыми лучами.

Обратимся теперь къ вопросу о томъ, что наблюдатель O думаетъ о только что описанныхъ манипуляціяхъ. Онъ за ними внимательно слѣдилъ и замѣтилъ, что путь, фактически пройденный свѣтомъ при переходѣ отъ A къ C и обратно, равенъ AC_1A_2, ибо, зная съ точностью, что платформа движется, онъ видѣлъ, что она перемѣстилась по направленію AB въ то время, въ теченіи котораго свѣтъ распространился по вышеуказанному пути.

Отсюда наблюдатель O заключаетъ, что, хотя наблюдателямъ A и C удастся привести свои часы въ точ-

ное согласіе, все-таки измѣренный ими промежутокъ времени долженъ быть больше того, который требуется, чтобы свѣтъ прошелъ разстояніе AC. Поэтому, онъ заключитъ, что величина скорости свѣта, полученная наблюдателями A и C, должна быть меньше той, которую онъ нашелъ бы самъ, такъ какъ наблюдатели A и C дѣлятъ разстояніе AC на то время, въ теченіи котораго свѣтъ проходитъ болѣе длинный путь AC_1. Полученное время t_1 относится ко времени t прохожденія лучемъ разстоянія AC какъ AC_1 относится къ AC.

По рис. 3 мы видимъ что

$$\overline{AC_1}^2 = \overline{AA_1}^2 + \overline{A_1C_1}^2;$$

Отсюда получаемъ

$$\frac{t_1^2}{t^2} = \frac{\overline{AC_1}^2}{\overline{AC}^2} = 1 + \frac{\overline{AA_1}^2}{\overline{AC}^2}$$

Но AA_1 представляетъ то разстояніе, на которое наблюдатель A перемѣстится въ тотъ промежутокъ времени, въ который свѣтъ проходитъ разстояніе AC_1, т.-е. время t_1. Если мы обозначимъ скорость перемѣщенія плоскости ABC черезъ v, то

$$AA_1 = vt_1.$$

Мы имѣемъ $AC = ct$, такъ какъ подъ t мы подразумѣваемъ время, въ которое свѣтъ проходитъ разстояніе AC, а c обозначаетъ скорость свѣта. Если мы вставимъ эти двѣ величины въ наше равенство, то получаемъ $\frac{t_1^2}{t^2} = 1 + \frac{v^2 t_1^2}{c^2 t^2}$, откуда легко вывести, что $t_1 = \beta t$, причемъ

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Время t_1 должно быть больше t, такъ какъ знаменатель дроби β меньше единицы.

Такимъ образомъ, наблюдатель О находитъ, что скорость измѣряемая наблюдателями А и С равна $\frac{c}{\beta}$; но къ своему удивленію, онъ узнаетъ изъ установленной между ними переписки, что найденная ими скорость равна c, согласно со вторымъ постулатомъ Эйнштейна. Вслѣдствіе этого наблюдателю О остается предположить, что часы наблюдателей А и С идутъ не съ тою же скоростью, съ какой идутъ его часы, но медленнѣе ихъ, или, другими словами, что единица времени, принятая наблюдателями А и В не тождественна съ его собственною; она больше послѣдней и равна ей, помноженной на β [1]).

Только этимъ можно объяснить, что наблюдатели А и С получаютъ при измѣреніи времени t_1 ту самую величину t, которая необходима для того, чтобы найти скорость c распространенія свѣта.

Обращаемся теперь къ разсмотрѣнію измѣренія, которое было произведено наблюдателями А и В. Какъ и въ предыдущемъ случаѣ наблюдатель А посылаетъ сигналъ наблюдателю В въ тотъ моментъ, когда его часы показываютъ ровно 0^h. Сигналъ достигаетъ наблюдателя В въ то время, когда его часы показываютъ $0^h 28^s$. Наблюдатель В отражаетъ, при помощи зеркала, пучекъ лучей обратно къ наблюдателю А, который получаетъ отра-

[1]) Весьма важно вполнѣ выяснить это обстоятельство: тѣ двѣ единицы, служащія для измѣренія времени, которыя различны по мнѣнію наблюдателя О, основаны на одномъ и томъ же опредѣленіи. Другими словами, хотя наблюдатель О и наблюдатели, находящіеся на плоскости, приняли за единицу времени періодъ одного и того же явленія (напр. періодъ колебанія, соотвѣтствующій опредѣленной спектральной линіи), все таки наблюдатель О приходитъ къ заключенію, что на плоскости, находящейся въ движеніи, этотъ періодъ больше, чѣмъ въ той системѣ, гдѣ онъ самъ находится.

женный свѣтъ въ тотъ моментъ когда его часы показываютъ, напр., $0^h 40^s$. Какъ и въ первомъ случаѣ, наблюдатель А даетъ знать наблюдателю В, что его часы должны были показывать $0^h 20^s$ вмѣсто $0^h 28^s$.

Наблюдатель В переставитъ стрѣлку своихъ часовъ на 8 секундъ назадъ, и будетъ теперь увѣренъ, что время на его часахъ соотвѣтствуетъ времени на часахъ наблюдателя А.

Такимъ образомъ, оба наблюдателя, раздѣливъ разстояніе АВ на время 20^s, т.-е. на половину времени, въ теченіи котораго пучекъ лучей прошелъ отъ А до В и обратно, получатъ значеніе скорости свѣта.

Теперь обратимся вновь къ наблюдателю О и посмотримъ, какъ онъ отнесется къ только что описанному измѣренію величины С.

Наблюдатель О знаетъ, что пространство, которое пучекъ лучей, вышедшій изъ точки А, долженъ пройти, чтобы достигнуть точки В, больше, чѣмъ разстояніе АВ, такъ какъ наблюдатель В, двигаясь въ направленіи хода луча, постоянно отъ него удаляется. Въ тотъ моментъ, когда пучекъ лучей достигнетъ наблюдателя В, (а это возможно въ томъ случаѣ, когда $c > v$, причемъ c и v имѣютъ вышеупомянутыя значенія скорости распространенія свѣта и скорости перемѣщенія платформы), послѣдній будетъ находиться въ точкѣ B'_1, которая лежитъ на разстояніи $v\tau_1$ отъ точки В, причемъ τ_1 обозначаетъ время, въ теченіи котораго свѣтъ пробѣгаетъ разстояніе AB_1.

Наблюдатель О легко можетъ вычислить это время, замѣтивъ, что относительная скорость, съ которой свѣтъ пробѣгаетъ движущееся разстояніе АВ, равно скорости c, уменьшенной на скорось v, съ которой В удаляется отъ источника лучей. Такимъ образомъ $\tau_1 = \frac{AB}{c - v}$. Дойдя

до точки B'_1, пучекъ лучей отражается и возвращается къ наблюдателю А; но такъ какъ послѣднiй перемѣщается навстрѣчу лучамъ, то фактически пройденное свѣтомъ пространство будетъ меньше, чѣмъ разстоянiе AB на величину $v\tau_2$, причемъ τ_2 означаетъ время, въ теченiи котораго пучекъ лучей пробѣгаетъ отъ точки B'_1 до точки A'_2. По причинамъ, аналогичнымъ выше приведеннымъ, это время равно $\tau_2 = \frac{AB}{c+v}$.

Полное время прохожденiя свѣта отъ А къ В и обратно, равняется, по вычисленiю наблюдателя O,

$$2\ t_2 = \tau_1 + \tau_2 = AB\left(\frac{1}{c-v} + \frac{1}{c+v}\right) = 2\ AB\frac{c}{c^2 - v^2}.$$

Если наблюдатель O обозначить черезъ t то время, въ теченiи котораго пучекъ лучей проходитъ истинное разстоянiе $AB = AC$, то онъ приметъ $AB = ct$; вставляя это значенiе въ выше приведенное равенство, мы получаемъ: $2\,t_2 = 2\,t\frac{c^2}{c^2 - v^2} = 2\,t.\beta^2$.

Теперь наблюдатель O принужденъ предположить, что наблюдателямъ А и В не удалось поставить свои часы одинаково, такъ какъ свѣтъ дѣйствительно проходитъ разстоянiе отъ А до наблюдателя В (т.-е. до точки B'_1) въ теченiи времени τ_1, между тѣмъ какъ по указанiю наблюдателя А, согласно съ которымъ В переставляетъ свои часы, время прохожденiя сигнала равно t_2. Такимъ образомъ часы наблюдателя В будутъ расходиться съ часами наблюдателя А. Считая тѣми единицами времени, которыми пользуется наблюдатель O, получаемъ разность $t_2 - \tau_1 = AB\left(\frac{c}{c^2 - v^2} - \frac{1}{c-v}\right) =$

$$= AB\frac{v}{c^2 - v^2} = AB\,v\frac{\beta^2}{c^2}.$$

Если мы выразимъ этотъ результатъ въ тѣхъ еди-

ницахъ времени, которыми пользуются наблюдатели A. B и C, то разность окажется въ β разъ меньше, такъ какъ эта вторая единица, по мнѣнію наблюдателя O, въ β разъ больше первой. Обозначимъ полученную разность черезъ θ; она равна $\theta = AB \cdot v \cdot \frac{\beta}{c^2}$.

Наблюдатель O выведетъ отсюда, что между двумя часами находящимися на движущейся платформѣ на разстояніи $AB = x$ по направленію движенія, существуетъ разность показаній, или какъ говорятъ, разность фазъ, пропорціональная скорости движенія и разстоянію x, причемъ множитель пропорціональности равенъ β, дѣленному на квадратъ скорости свѣта. Часы, которые движутся спереди отъ основныхъ часовъ, идутъ впередъ, между тѣмъ какъ часы, которыя находятся за ними, отстаютъ. Итакъ, оказывается, что не только вся система, находящаяся въ движеніи обладаетъ своей собственной единицей времени, которая не тождественна съ единицею времени наблюдателя O, но, что каждая точка системы имѣетъ свое особенное, ей присущее время. Одному и тому же моменту времени наблюдателя O соотвѣтствуетъ въ движущейся системѣ безконечное множество различныхъ моментовъ. Такимъ образомъ выходитъ, что понятіе о времени на движущейся системѣ глубоко отличается отъ того, котораго придерживается наблюдатель O.

Далѣе, наблюдатель O замѣчаетъ, что время t_2, въ теченіи котораго, по измѣреніямъ наблюдателей A и B, свѣтъ проходитъ разстояніе AB, отличается отъ времени t_1, которое было получено опредѣленіями наблюдателей A и C.

Послѣднее, по мнѣнію наблюдателя O равно $t\beta$, между тѣмъ какъ первое равно $t\beta^2$. Итакъ, наблюдатель O находитъ, что значеніе скорости свѣта, полученное

движущимися наблюдателями при помощи дѣленія AB на t_2, не тождественно со значеніемъ, которое раньше получили наблюдатели A и C, причемъ послѣдній результатъ долженъ быть меньше перваго на величину равную отношенію 1 къ β.

Но наблюдатель O, которому удалось завести сношенія съ наблюдателями движущейся платформы, узнаетъ съ не малымъ удивленіемъ, что результатъ, полученный измѣреніями A и B, равенъ c, т.-е. величинѣ, которую онъ самъ получилъ (на основаніи перваго принципа Эйнштейна).

Наблюдатель O не можетъ объяснить этого парадоксальнаго результата, основываясь только на существованіи различныхъ единицъ времени, отношеніе между которыми онъ только что опредѣлилъ; поэтому у него возникаетъ мысль, что наблюдатели на платформѣ считаютъ длины AB и AC не одинаковыми, и находятъ, что AB въ β разъ больше чѣмъ AC; такимъ образомъ, они и не должны удивляться, замѣтивъ, что свѣтъ проходитъ путь AB въ промежутокъ времени, который въ β разъ больше чѣмъ время, необходимое для прохожденія пути AC; вслѣдствіи этого имъ и удается получить одинаковыя значенія для отношенія пути ко времени, т.-е. для скорости свѣта.

Такой результатъ, по мнѣнію наблюдателя O можетъ быть полученъ лишь въ томъ случаѣ, когда единица длины, которою пользуются наблюдатели на платформѣ, производя измѣренія по направленію AB, меньше той, при помощи которой они производили измѣренія по направленію AC, и притомъ въ отношеніи 1 : β [1]).

---

[1]) Здѣсь мы должны замѣтить, аналогично тому, что было сказано объ измѣненіи единицы времени, что единицы мѣры, употребляемыя наблюдателемъ O и наблюдателями на платформѣ, соотвѣтствуютъ одному и тому же масштабу,

Вслѣдствіе этого оказывается, что если нѣкоторая фигура представляется движущимся наблюдателямъ прямоугольникомъ съ отношеніемъ сторонъ 3:1, причемъ длинныя стороны расположены въ направленіи движенія, то эта же самая фигура наблюдателю O представляется въ видѣ квадрата, стороны котораго равны малой сторонѣ прямоугольника. И наоборотъ: видимый съ платформы квадратъ, одна сторона котораго параллельна направленію движенія, представляется наблюдателю O прямоугольникомъ, большая сторона котораго перпендикулярна къ направленію движенія. Приборъ Майкельсона, равносторонній для наблюдателя, движущагося вмѣстѣ съ приборомъ, представляется наблюдателю неподвижному относительно этого прибора, неодностороннимъ, причемъ короткая сторона расположена въ направленіи движенія.

Итакъ, мы видимъ, что наблюдатель O расходится съ наблюдателями находящимися на платформѣ, не только въ своемъ представленіи о времени, но и въ своемъ сужденіи относительно какихъ-либо пространственныхъ величинъ: такимъ образомъ, геометрія наблюдателя O не совпадаетъ съ геометріей наблюдателей A, B и C.

Предположимъ, что три другихъ наблюдателя, P, Q и R, находясь на другой плоскости, движущейся со скоростью *u* по направленію движенія первой плоскости, и, для простоты, параллельно къ ней, производятъ измѣренія, аналогичныя измѣреніямъ наблюдателей A, B и C. Ясно, что на основаніи результатовъ ихъ манипуляцій,

---

который выбранъ по одинаковымъ опредѣленіямъ; но значеніе этого масштаба, по мнѣнію наблюдателя O, мѣняется вмѣстѣ съ установкой его по отношенію къ движущейся системѣ.

наблюдатель O придетъ къ выводамъ, относительно измѣренія длины и времени, вполнѣ аналогичнымъ только что описаннымъ.

Аналогичныя же заключенія должны однако вывести и наблюдатели A, B и C, когда они являются зрителями манипуляцій, производимыхъ наблюдателями P, Q и R. Имъ ничего не извѣстно объ ихъ движеніи относительно наблюдателя O (въ противномъ случаѣ результаты измѣреній, производимыхъ наблюдателями A, B и C, совпали бы съ тѣми, которые получилъ наблюдатель O), и они должны предположить, что находятся въ состояніи покоя, между тѣмъ какъ наблюдаемая ими первая система движется со скоростью $w = u - v$.

Наблюдатели A, B и C полагаютъ, что ходъ часовъ, т.-е. единица времени во второй системѣ, больше, нежели на ихъ платформѣ, причемъ отношеніе временъ равно $\beta_1 : 1$, гдѣ $\beta_1 = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{c^2}{w^2}}}$. Имъ кажется, что единицы длины обѣихъ системъ одинаковы, если эти единицы установлены перпендикулярно движенію, между тѣмъ какъ онѣ различны, когда онѣ расположены по направленію движенія, а именно, единица длины наблюдателей P, Q и R меньше той, которой они сами пользуются, въ отношеніи $1 : \beta_1$.

По мнѣнію наблюдателей A, B и C, показанія часовъ наблюдателей системы PQR, находящихся въ различныхъ точкахъ, расположенныхъ вдоль направленія движенія, не совпадаютъ; между каждыми изъ часовъ системы PQR и основными часами существуетъ разность фазъ, выражаемая формулою $\Theta_1 = x w \frac{\beta_1}{c^2}$ въ единицахъ времени наблюдателей P, Q, R.

Два событія, которыя происходятъ въ различныхъ точкахъ системы P Q R и которыя, наблюдателями этой системы считаются одновременными, наблюдателямъ A, B и C, по необходимости, представляются слѣдующими одно за другимъ, такъ какъ тѣ часы, которыя наблюдателямъ P Q R кажутся показывающими одинаковое время, расходятся по мнѣнію наблюдателей A, B и C.

Съ своей стороны, наблюдатели P, Q, R, находящіеся въ тѣхъ же условіяхъ, какъ и наблюдатели A, B, C, считаютъ, что платформа послѣднихъ движется со скоростью w; понятно, что они придутъ относительно результатовъ измѣреній временъ и пространствъ, найденныхъ наблюдателями A, B, C, къ выводамъ, вполнѣ аналогичнымъ тѣмъ, къ которымъ послѣдніе пришли по отношенію къ ихъ (т.-е. наблюдателей P, Q, R) результатамъ [1]).

Однако, по теоріи относительности, ничто не можетъ заставить насъ предпочесть результаты наблюдателей P, Q и R результатамъ, полученнымъ наблюдателями другой системы. Если мы, вмѣстѣ съ Эйнштейномъ, принимаемъ принципъ относительности для всѣхъ рѣшительно явленій, происходящихъ во

---

[1]) Несовпаденіе результатовъ, полученныхъ A, B и C, съ результатами, полученными O и P, Q и R, каждый изъ наблюдателей могъ бы попытаться объяснить тѣмъ, что пучекъ свѣта, исходящій изъ движущагося источника, распространяется со скоростью, равной суммѣ скорости *c* и скорости движенія самого источника свѣта: такая точка зрѣнія совершенно противоположна второму постулату Эйнштейна. Результатъ новѣйшихъ попытокъ Комстока (Comstok) и Тольмана (Tolmaun) заставляетъ думать, что такая гипотеза противорѣчитъ дѣйствительности. Однако, критическая провѣрка Стюарта (Stewart) показала, что названныя изслѣдованія не могутъ считаться рѣшающими вопросъ.

вселенной, то мы тѣмъ самымъ отказываемся отъ существованія наблюдателя O, т.-е. такого наблюдателя, который находится въ особыхъ условіяхъ, а именно въ состояніи полной неподвижности, и который, вслѣдствіи этого, имѣлъ бы возможность замѣтить ошибочность нашихъ сужденій о времени и подсмѣиваться надъ странными совпаденіями, которыя мы стараемся найти между различными явленіями, происходящими въ двухъ мѣстахъ, лежащихъ на далекомъ разстояніи другъ отъ друга, какъ, напр., совпаденіе появленія солнечныхъ пятенъ съ магнитными бурями, или прохожденія луны черезъ меридіанъ съ морскими приливами.

Въ этомъ заключается вся разница между воззрѣніями Лоренца и Эйнштейна. Лоренцъ принимаетъ существованіе неподвижнаго эфира, т.-е. такого основного тѣла, относительно котораго всѣ соотношенія во времени и въ пространствѣ обладали бы абсолютнымъ и неизмѣняемымъ характеромъ. Наблюдатель, которому удалось бы, хотя на одинъ моментъ, прикрѣпить себя къ эфиру, имѣлъ бы, по мнѣнію Лоренца, полную возможность насладиться тою комическою картиною, на которую я только что намекнулъ.

По Эйнштейну это представляется невозможнымъ, и потому онъ отрицаетъ существованіе эфира. Отсюда вытекаетъ, что всѣ представленія о времени и о величинахъ въ пространствѣ должны и могутъ быть повсюду, въ каждой произвольной точкѣ вселенной, въ каждомъ, находящемся въ пространствѣ тѣлѣ, только относительными. Эти представленія зависятъ отъ положенія наблюдателя и отъ ско-

рости, съ которой система движется относительно наблюдателя.

Пространству и времени уже не можетъ быть приписанъ характеръ величинъ абсолютныхъ; и первое и второе оказываются лишь результатами нашихъ, вполнѣ относительныхъ умозаключеній.

Этотъ выводъ, правда, можетъ показаться чрезвычайно страннымъ; однако, сторонники принципа относительности замѣчаютъ, что не менѣе странными представлялись пятьсотъ лѣтъ тому назадъ воззрѣнія **Коперника**, поскольку они касались относительности нашихъ представленій объ оріентировкѣ тѣлъ въ пространствѣ вообще, объ измѣняемости нашего собственнаго положенія въ пространствѣ и неодинаковости направленій, принимаемыхъ тѣлами людей, стоящихъ на поверхности земли. И не менѣе мы сами были удивлены въ дѣтскіе годы, когда мы впервые услыхали о томъ, что подъ нами живутъ люди, причемъ ихъ ноги обращены по направленію къ намъ, а головы внизъ, по направленію къ небу, и, что эти люди живутъ также, какъ и мы, движутся безъ всякаго головокруженія и не падаютъ въ міровую бездну вмѣстѣ съ водой океановъ и всѣми другими тѣлами, находящимися на поверхности земли.

Приверженцы принципа относительности утверждаютъ, что черезъ пятьсотъ лѣтъ наши современныя представленія времени будутъ казаться смѣшными, подобно тому, какъ теперь бываетъ трудно сдержать улыбку при чтеніи старинной книги, въ которой изложено старое геоцентрическое ученіе.

Въ связи съ новыми представленіями о времени и пространствѣ, оказывается, по причинамъ, которыя я здѣсь не имѣю возможности объяснять, что масса движущагося тѣла должно измѣниться при перемѣнѣ ско-

рости движенія: дѣйствительно, каждое тѣло обладаетъ неодинаковою инертностью по направленію движенія и въ перпендикулярномъ къ нему направленіи; это выражаютъ словами, что поперечная масса каждаго тѣла не одинакова съ его продольной массой. Вторая оказывается больше первой, и притомъ разность увеличивается вмѣстѣ со скоростью движенія тѣла. Вычисленіе показываетъ даже, что продольная масса должна была бы сдѣлаться безконечно большой, если бы скорость движенія тѣла сдѣлалась равною скорости свѣта.

Вслѣдствіи этого, старый принципъ сложенія скоростей перестаетъ быть вѣрнымъ для новой, нынѣ возникающей механики. Сколько тысячъ скоростей одного и того же тѣла мы бы не сложили и какъ бы мало каждая изъ нихъ не отличалась отъ скорости распространенія свѣта, мы всетаки никогда не заставимъ это тѣло двигаться со скоростью свѣта. Скорость полученная отъ сложенія произвольнаго числа скоростей, изъ которыхъ каждая немногимъ меньше скорости свѣта, всегда либо меньше скорости свѣта, либо равна ей въ томъ случаѣ, если число слагаемыхъ безконечно велико. Отсюда слѣдуетъ, что скорость распространенія свѣта является предѣльной величиной для скоростей, возможныхъ во вселенной.

Итакъ, новая механика должна измѣнить старыя представленія о времени и длинѣ. Она отрицаетъ принципъ постоянства вещества и принципъ сложенія скоростей; она отвергла бы также и принципъ равенства дѣйствія и противодѣйствія, если бы этому не помѣ-

шало появленіе новой гипотезы [1]), спасшей этотъ принципъ.

Отъ старой механики почти не остается ничего; вся механика должна быть построена сызнова, а съ ней и весь внѣшній міръ, доступный нашему наблюденію, т.-е. воспринимаемый нашими органами чувствъ, поскольку онъ представляется намъ міромъ механическимъ.

Что же остается отъ стараго, и что дастъ намъ новая теорія? Хочется отвѣтить: „ничего!“, когда нашъ разумъ чувствуетъ себя безнадежно угнетеннымъ волною сомнѣній и чувствомъ разочарованія. Ничего мы не имѣемъ передъ собою, кромѣ немногихъ формулъ, и геометрической картины, которой мы тщетно будемъ пытаться придать осязаемую форму, ибо она пользуется представленіемъ о четырехмѣрномъ пространствѣ.

Но приверженцы теоріи относительности стараются насъ ободрить. По ихъ мнѣнію существуетъ уже достаточный матеріалъ для построенія новаго научнаго зданія, которое должно быть совершеннѣе и величественнѣе всѣхъ донынѣ созданныхъ человѣческимъ геніемъ.

По мнѣнію Макса Планка, неизмѣняемыми элементами, которые могутъ служить основой физической картины міра, согласно съ теоріей относительности, должны быть слѣдующія міровыя постоянныя: прежде всего скорость распространенія свѣта въ пустотѣ, затѣмъ зарядъ электрона, его масса въ состояніи неподвижности, элементарное количество дѣйствія, съ которымъ насъ зна-

[1]) По этой гипотезѣ, масса (инертность) должна быть приписана самой энергіи, независимо отъ того, перемѣщается ли она въ свободномъ пространствѣ, или заключена внутри матеріальнаго тѣла.

*

комитъ теорія излученія, постоянныя формулы тяготѣнія и еще нѣкоторыя другія величины.

По мнѣнію приверженцевъ теоріи относительности, названныя величины обладаютъ абсолютнымъ значеніемъ, независящимъ отъ случайныхъ обстоятельствъ, напр. отъ положенія и скорости перемѣщенія наблюдателя. Въ этомъ новомъ направленіи, теорія относительности представляется уже не разрушающей силой, а наоборотъ, орудіемъ созиданія и упорядоченія новаго міровоззрѣнія.

ПРИМѢЧАНІЯ

Отъ редактора.

Примѣч. 1. (Къ стр. 3). Движенія малыхъ частицъ, находящихся внутри какой либо жидкости, было открыто въ 1827 г. ботаникомъ Броуномъ (*Brown*). Явленіе, названное Броуновскимъ движеніемъ было, въ послѣднее время, подвергнуто многочисленнымъ эксперементальнымъ и теоретическимъ изслѣдованіямъ. Оно заключается въ томъ, что микроскопически малыя частицы посторонихъ веществъ находятся внутри жидкости въ постоянномъ, ни при какихъ условіяхъ не прекращающемся движеніи. Сравнительно болѣе крупныя частицы (пылинки) непрерывно дрожатъ; наиболѣе мелкія частицы обнаруживаютъ крайне странныя, неправильныя движенія по ломаннымъ линіямъ. Не можетъ подлежать ни малѣйшему сомнѣнію, что эти движенія вызываются ударами молекулъ жидкости при ихъ тепловомъ движеніи. Эйнштейнъ и Смолуховскій развили теорію Броуновскаго движенія и указали закономѣрную ихъ зависимость отъ температуры и отъ свойствъ жидкости. Предсказанія теоріи вполнѣ подтвердились при опытныхъ изслѣдованіяхъ. Такимъ образомъ Броуновскія движенія послужили первымъ наглядным и неопровержимымъ доказательствомъ правильности того молекулярно-кинетическаго взгляда на строеніе вѣсомой матеріи, который составляетъ основу современной физики.

Прим. 2. (Къ стр. 6). Если въ одной точкѣ среды начинается колебательное движеніе частицы, то это движеніе передается сосѣднимъ частицамъ, отъ нихъ опять сосѣднимъ и т. д. Такимъ образомъ движеніе распространяется во всѣ стороны. Если это распространеніе происходитъ по всѣмъ направленіямъ съ одинаковою скоростью, то совокупность точекъ, одновременно начинающихъ колебаться, очевидно, будетъ расположена по шаровой поверхности. Всѣ точки этой т. наз. волновой поверхности должны быть разсматриваемы, какъ новые центры, отъ которыхъ колебанія распространяются во всѣ стороны, такъ что черезъ небольшой промежутокъ времени *t* должны были бы образоваться безчисленныя маленькія, шаровидныя волновыя поверхности. Однако подробное вычисленіе показываетъ, что во всѣхъ точкахъ пространства, лежащихъ внутри этихъ „элементарныхъ" волновыхъ поверхностей, колебанія, исходящія отъ различныхъ точекъ большой волновой поверхности, какъ разъ взаимно уничтожаются, такъ что колебаніе, напр., не распространяется назадъ къ первоначальному ихъ источнику. Только на точкахъ шаровой поверхности, обхватывающей всѣ элементарныя волновыя поверхности (касательная къ нимъ), колебанія не уничтожаются, такъ что эта шаровая поверхность и составитъ новую волновую поверхность въ концѣ времени *t*. Изложенный здѣсь взглядъ на механизмъ распространенія волновой поверхности извѣстенъ подъ названіемъ принципа Гюйгенса.

Прим. 3. (Къ стр. 7). Подъ модулемъ упругости слѣдуетъ здѣсь понимать модуль Юнга, т.-е. модуль продольнаго растяженія. Вообразимъ себѣ стержень или проволоку, длина которой L, а площадь поперечнаго сѣченія Если эту проволоку натянуть грузомъ P,

то $P:s=p$ называется растягивающей силой; эта та сила, которая дѣйствуетъ на единицу поперечнаго сѣченія, напр. на 1 кв. миллиметръ. Подъ ея вліяніемъ проволока удлиняется на нѣкоторую величину λ; отношеніе $\lambda:L$ называется относительнымъ удлиненіемъ проволоки.

Опредѣливъ P, L, s и λ, можно вычислить ту растягивающую силу e, подъ вліяніемъ которой получилось бы $\lambda=L$, т.-е. длина проволоки удвоилась бы, еслибы она, конечно, не разорвалась при гораздо меньшемъ растяженіи. Сила e и называется модулемъ Юнга. Такъ, для хорошихъ сортовъ стали модуль Юнга $e=20000$ килогр. на кв. мм. площади поперечнаго сѣченія. Это значитъ, что стальная проволока при малыхъ нагрузкахъ растягивается на столько, что если бы растяженіе продолжало расти пропорціонально увеличиваемой нагрузкѣ, и еслибы проволока не разорвалась гораздо раньше, то ея длина удвоилась бы при нагрузкѣ въ 20000 килогр. на кв. мм. поперечнаго сѣченія. Въ дѣйствительности она разрывается уже при нагрузкѣ въ 70 кгр. на кв. мм.: при нагрузкѣ въ 30 кгр. на кв. мм. уже достигается предѣлъ упругости, т.-е. проволока начинаетъ претерпѣвать остаточное растяженіе, остающееся въ ней, когда растягивающая сила перестаетъ дѣйствовать, а пропорціональность между растягивающей силой и растяженіемъ прекращается при еще меньшей нагрузкѣ.

Прим. 4. (Къ стр. 8). Опытъ, о которомъ здѣсь говоритъ авторъ, заключается въ слѣдующемъ. Къ горизонтальной перекладинѣ привѣшены на параллельныхъ нитяхъ шары изъ слоновой кости, которые послѣдовательно соприкасаются между собою. Если одинъ изъ двухъ крайнихъ шаровъ отвести въ сторону, не выводя его изъ вертикальной плоскости, проходящей че-

резъ центры всѣхъ шаровъ, и затѣмъ отпустить его, то онъ, подобно маятнику будетъ двигаться къ своему первоначальному положенію равновѣсія и ударится въ сосѣдній ему шаръ. При этомъ обнаруживается слѣдующее явленіе: первый шаръ останавливается, т.-е., несмотря на свою упругость, не отскакиваетъ; всѣ остальные шары остаются неподвижимыми и только послѣдній, крайній шаръ отскакиваетъ почти на столько, на сколько первый шаръ былъ первоначально выведенъ изъ своего положенія равновѣсія. Такимъ образомъ, толчекъ, произведенный первымъ шаромъ, передается черезъ всѣ промежуточные шары до послѣдняго.

Прим. 5. (Къ стр. 8). Энергія (кинетическая) движущагося тѣла называется его живою силою. Она опредѣляется половиною произведенія его массы m на квадратъ его скорости v, т.-е. величиною $\frac{1}{2}mv^2$. Для свѣтовыхъ частицъ теоріи Ньютона масса m весьма мала, но за то скорость v (300000 килом. въ сек.) чрезвычайно велика, а потому запасъ „лучистой“ энергіи, заключающійся въ свѣтовомъ потокѣ, можетъ быть довольно великъ. Если лучи встрѣчаютъ какое-либо тѣло, то они могутъ, хотя бы отчасти, этимъ тѣломъ поглощаться (часть, вообще, отражается, а часть иногда проходитъ черезъ тѣло); при этомъ ихъ лучистая энергія переходитъ въ энергію тепловую, а иногда и въ другія формы энергіи, напр., когда подъ вліяніемъ лучей происходятъ химическія реакціи (фотохимическія явленія).

Прим. 6. (Къ стр. 9). Когда изъ одной точки свѣтящагося тѣла исходятъ два луча, или одинъ лучъ, который на своемъ пути раздѣляется на два луча, и когда эти два луча, претерпѣвъ какія-либо отраженія

или преломленія, вновь встрѣчаются въ одной точкѣ, то частица среды, находящаяся въ этой точкѣ, подвергается одновременно двумъ импульсамъ. Она должна совершать сразу тѣ два колебанія, которыя одновременно распространяются до нея вдоль двухъ лучей. Въ этомъ случаѣ происходитъ явленіе интерференціи лучей. Если оба колебанія обладаютъ одинаковыми фазами, т.-е. соотвѣтственныя имъ движенія происходятъ одновременно въ одинаковыхъ направленіяхъ, то колебанія складываются въ одно болѣе интенсивное (съ большимъ размахомъ) колебаніе и въ разсматриваемой точкѣ получается яркій свѣтъ. Если же колебанія въ этой точкѣ обладаютъ противоположными фазами, т.-е. соотвѣтствующія имъ одновременныя движенія въ каждый моментъ времени происходятъ въ противоположныхъ другъ другу направленіяхъ, то колебанія взаимно уничтожаются, разсматриваемая точка остается въ покоѣ и въ ней получается темнота. Если направить лучи въ зрительную трубу, то наблюдатель увидитъ рядъ попеременно свѣтлыхъ и темныхъ полосъ: это т. наз. интерфенціонныя полосы. Каждая полоса представляетъ совокупность точекъ, въ которыхъ лучи интерферируютъ съ одинаковыми (свѣтлыя полосы) или съ противоположными (темныя полосы) фазами. Если измѣнить время распространенія одного или обоихъ лучей отъ источника до того мѣста, гдѣ находятся интерференціонныя полосы, то полосы смѣщаются по направленію, перпендикулярному къ ихъ длинѣ. Величина этого смѣщенія обыкновенно опредѣляется числомъ полосъ, которыя проходятъ черезъ какую-либо точку поля зрѣнія зрительной трубы. Говорятъ, что полосы смѣстились на столько-то полосъ.

Прим. 7 (къ стр. 10). Изотропною называется та-

кая среда, которая по всѣмъ направленіямъ обладаетъ одинаковыми свойствами, напр. свѣтъ и теплота распространяются въ ней по всѣмъ направленіямъ съ одинаковою скоростью. Въ противомъ случаѣ среда называется анизотропною. Газы и жидкости суть тѣла изотропныя, но подъ вліяніемъ электрическихъ силъ и онѣ дѣлаются анизотропными. Къ тѣламъ изотропнымъ относятся резина, стекло и т. д. Но натянутая резина, а также стекло, неравномѣрно отлитое, недостаточно медленно охлажденное, или подвергнутое внѣшнимъ силамъ электрическимъ или чисто механическимъ, напр., сгибающимъ) оказывается анизотропнымъ. Къ анизотропнымъ тѣламъ относятся всѣ кристаллы, за исключеніемъ кристалловъ правильной системы (кубъ, октаэдръ и др.), которые оптически-изотропны, т.-е. по отношенію къ свѣтовымъ явленіямъ всѣ направленія въ нихъ ничѣмъ другъ отъ друга не отличаются. Въ т. наз. одноосныхъ кристаллахъ существуетъ нѣкоторое преимущественное направленіе. Всякая прямая, проведенная черезъ произвольную точку M кристалла параллельно этому направленію, называется оптическою осью. Кристаллъ обладаетъ одинаковыми свойствами по всѣмъ направленіямъ всѣхъ прямыхъ, проведенныхъ черезъ точку M и составляющихъ съ оптическою осью одинъ и тотъ же уголъ φ. Всѣ эти направленія расположены на поверхности конуса, вершина котораго находится въ точкѣ M. Но по направленіямъ, образующимъ различные углы φ съ осью, кристаллъ обладаетъ неодинаковыми свойствами. Наибольшая разница въ свойствахъ существуетъ по направленіямъ оси ($\varphi = 0$) и перпендикулярно къ ней ($\varphi = 90^0$).

Синхроническими называются колебанія тождественныя, т.-е. находящіяся въ каждый данный моментъ въ одинаковыхъ фазахъ (см. прим. 6).

Прим. 8 (къ стр. 12). Здѣсь авторъ имѣетъ въ виду явленія диффракціи свѣта, показывающія, что свѣтъ можетъ распространяться и не прямолинейно, какъ предполагаетъ элементарная оптика. Если на пути волновой поверхности (прим. 2) помѣстить непрозрачный экранъ, то элементарная оптика весьма просто опредѣляетъ границы того пространства, которое находится въ геометрической тѣни экрана: эта граница образуется совокупностью всѣхъ прямыхъ линій, проведенныхъ изъ свѣтящейся точки къ точкамъ, расположеннымъ вдоль края экрана. Но волновая теорія приводитъ къ другому результату. На основаніи принципа Гюйгенса (прим. 2) слѣдуетъ принять во вниманіе, что всѣ точки волновой поверхности, дошедшей до экрана, которыя находятся близъ его края, вызываютъ, какъ и всѣ остальныя точки волновой поверхности, колебанія, распространяющіяся по всѣмъ направленіямъ. Но въ виду отсутствія части волновой поверхности, закрытой экраномъ, не происходитъ того взаимнаго уничтоженія колебаній, о которомъ было сказано въ прим. 2. Колебанія, исходящія отъ точекъ волновой поверхности, ближайшихъ къ экрану, свободно распространяются по направленію вглубь геометрически-тѣневого пространства, а потому, по крайней мѣрѣ, часть этого пространства должна оказаться освѣщенною. Теоретическій разборъ этого явленія, т.-е. вычисленіе силы свѣта въ различныхъ точкахъ около края геометрической тѣни, представляетъ весьма большія математическія трудности. Частный случай, о которомъ говоритъ авторъ, и который былъ теоретически изученъ Пуассономъ, заключается въ томъ, что на пути лучей ставится весьма маленькій круглый экранъ. Вычисленіе показываетъ, что въ центрѣ изображенія кружка, получаемаго въ полѣ зрѣнія зрительной трубы, гдѣ по элементарнымъ

геометрическимъ соображеніямъ должна бы быть полная тѣнь, теорія колебательнаго движенія даетъ сравнительно большую яркость свѣта. Этотъ то результатъ и показался Пуассону совершенно невѣроятнымъ и потому говорящимъ противъ теорія Френеля, опыты котораго однако вполнѣ подтвердили выводъ теоріи. Съ точки зрѣнія теоріи Френеля указанное явленіе объясняется очень просто. Всѣ колебанія, исходящія отъ точекъ волновой поверхности, ближайшихъ къ краю маленькаго экрана, сходятся въ центрѣ геометрической тѣни, обладая совершенно одинаковыми фазами. Здѣсь всѣ колебанія просто складываются, получается интенсивное колебаніе, а потому и примѣрно такая же сила свѣта, какъ при полномъ отсутствіи экрана, какъ будто послѣдній имѣлъ въ серединѣ отверстіе.

Прим. 9 (къ стр. 15). Кристаллы суть тѣла анизотропныя (прим. 7). Скорость распространенія луча зависитъ отъ того, какой уголъ φ составляетъ направленіе колебаній съ направленіемъ оптической оси. Этотъ уголъ мѣняется, если вращать кристаллическую пластину вокругъ луча, который черезъ нее не проходитъ, а потому такое вращеніе и можетъ вліять на наблюдаемыя оптическія явленія. Въ лучѣ свѣта, испускаемаго какимъ-либо свѣтящимся тѣломъ происходятъ колебанія по всевозможнымъ направленіямъ, перпендикулярнымъ къ лучу. Но если такой лучъ свѣта вступаетъ въ одноосный кристаллъ, то оказывается, что въ немъ могутъ существовать только два рода колебаній: одни расположены въ плоскости, проходящей черезъ лучъ и черезъ оптическую ось, а другіе перпендикулярны къ этой плоскости. Эти два колебанія распространяются въ кристаллѣ съ неодинаковыми скоростями, такъ что лучъ собственно раздѣляется на два луча. Оба луча поляризованы, т.-е. всѣ колебанія вдоль

луча между собою параллельны; они расположены въ одной плоскости. Два луча, въ которыхъ колебанія другъ къ другу перпендикулярны, не могутъ интерферировать, т.-е. напр., уничтожать другъ друга въ опредѣленныхъ точкахъ пространства и давать интерференціонныя полосы.

Турмалинъ, одноосный кристаллъ, обыкновенно зеленоватаго свѣта, имѣетъ то замѣчательное свойство, что свѣтовыя колебанія, происходящія перпендикулярно къ его оптической оси, совершенно поглощаются кристалломъ. Тѣ двѣ пластинки, изъ которыхъ состоятъ турмалиновые щипцы, вырѣзаны изъ кристалла параллельно оптической оси, которая, слѣдовательно, расположена перпендикулярно къ лучу, падающему нормально къ боковой поверхности пластинки. Вступая въ кристаллъ, лучъ разлагается на два луча; въ одномъ изъ нихъ колебанія происходятъ параллельно оптической оси, въ другомъ—перпендикулярно къ этой оси. Изъ нихъ второй поглощается, а первый проходитъ черезъ пластинку, такъ что каждая изъ двухъ пластинокъ отдѣльно взятая, оказывается въ достаточной мѣрѣ прозрачной. Если сложить обѣ пластинки такъ, чтобы оптическія оси въ нихъ были между собою параллельны, то колебанія въ лучѣ, прошедшемъ черезъ первую пластинку, окажутся и во второй параллельными оптической оси, и потому лучъ пройдетъ черезъ вторую пластинку. Совокупность двухъ пластинокъ оказывается, въ этомъ случаѣ, прозрачною. Но если вторую пластинку повернуть на 90° (около нормали къ обѣимъ пластинкамъ), то колебанія, вышедшія изъ первой пластинки, окажутся перпендикулярными къ оптической оси второй пластинки, и потому ею поглощаются. Обѣ пластинки, вмѣстѣ взятыя, представляютъ тѣло непрозрачное. Если бы колебанія были

не перпендикулярныя къ лучу, но продольныя, т.-е. происходили, какъ въ звуковыхъ явленіяхъ, по направленію луча, то вращеніе пластинки, очевидно, не могло бы отразиться на томъ, что происходитъ съ лучемъ внутри пластинки.

Прим. 10 (къ стр. 22). Модуль сдвига опредѣляется сопротивленіемъ вещества измѣненію его формы. Представимъ себѣ параллелепипедъ изъ даннаго вещества, одна изъ сторонъ котораго закрѣплена неподвижно. Приложимъ къ противоположной сторонѣ силу F, параллельную ей и стремящуюся сдвинуть ее по направленію, параллельному неподвижной сторонѣ. Параллелепипедъ превратится въ наклонную призму, и прямая, перпендикулярная къ двумъ разсматриваемымъ сторонамъ, повернется на нѣкоторый уголъ φ. Пусть s площадь сдвигаемой стороны, такъ что $f = F : s$ есть сила, приложенная къ единицѣ площади этой стороны. Въ такомъ случаѣ оказывается, что для небольшихъ сдвиговъ уголъ сдвига φ пропорціоналенъ сдвигающей силѣ f, такъ что можно положить $f = N\varphi$. Величина N и называется модулемъ сдвига.

Прим. 11 (Къ стр. 24). Произведемъ всестороннее сжатіе тѣла, производя на каждую единицу его поверхности давленіе p. Отъ этого его объемъ v уменьшится на нѣкоторую величину w; относительное уменьшеніе объема, которое равно $w : v$, можно считать пропорціональнымъ давленію p. Если положить $f = K\frac{w}{v}$, то K называется модулемъ объемнаго сжатія. Между тремя модулями—растяженія E, сдвига N и объемнаго сжатія существуетъ связь, выражающаяся равенствомъ

$$\frac{1}{E} = \frac{1}{3N} + \frac{1}{9K}.$$

Прим. 12. (къ стр. 35). Когда діэлектрикъ, т.-е. непроводникъ электричества подвергается дѣйствію электрическихъ силъ, то въ каждой его частицѣ происходитъ передвиженіе элекричества, не переходящаго, однако, къ сосѣднимъ частицамъ. Такое внезапное перемѣщеніе электричества внутри частицъ обладаетъ свойствами электрическаго тока; вызываетъ, напр., въ окружающемъ пространствѣ магнитныя силы. Это и есть токъ смѣщенія, о которомъ говоритъ авторъ.

Прим. 13 (къ стр. 36). Выбравъ произвольно единицы длины, времени и массы, напр. 1 сантиметръ, одну секунду и одинъ граммъ (С. G S. система) мы можемъ на нихъ двумя способами построить единицы количества электричества. Будемъ, для примѣра, говорить только о С. G. S. системѣ. Въ этой системѣ единица скорости есть скорость одинъ сантиметръ въ одну секунду. Единицу ускоренія опредѣлимъ, какъ увеличеніе скорости въ одну секунду на одну С. G. S. единицу скорости; ускореніе *g* свободнаго паденія тѣлъ въ пустотѣ равно 981 С. G. S. единицѣ ускоренія. С. G. S. единица силы придаетъ массѣ граммъ С. G. S. единицу ускоренія; она называется диномъ и равна приблизительно вѣсу 1,02 миллиграмма. Вообразимъ такое количество электричества, которое отталкиваетъ равное ему количество электричества, находящееся на разстояніи одного сантиметра отъ него, съ силою, равною одному дину. Это и будетъ С. G. S. электростатическая единица количества электричества.

Вообразимъ себѣ магнитный полюсъ, который отталкиваетъ одинаковый съ нимъ магнитный полюсъ, находящійся на разстояніи одного сантиметра отъ него, съ силою, равною одному дину. Такой полюсъ содержитъ С. G. S. единицу количества магнетизма. Далѣе

представимъ себѣ окружность, радіусъ которой равенъ одному сантиметру, и вдоль которой течетъ электрическій токъ. Въ центрѣ круга помѣщена C. G. S. единица количества магнетизма, на которую отрѣзокъ тока, длиною въ одинъ сантиметръ (длина всего тока равна 2π сантиметрамъ), дѣйствуетъ съ силою, равною одному дину. Количество электричества, протекающее въ теченіи одной секунды черезъ поперечное сѣченіе проводника разсматриваемаго тока, представляетъ C. G. S. **электромагнитную** единицу количества электричества. Ея отношеніе къ C. G. S. электростатической единицѣ количества электричества равно 3.10^{10}. Это число какъ разъ равно скорости свѣта, выраженной въ C. G. S. единицахъ скорости, ибо она равна 3.10^{10} сантиметровъ въ секунду.

Прим. 14 (къ стр. 38). Электромагнитная теорія свѣта вполнѣ отказывается отъ объясненія внутренняго механизма распространенія лучистой энергіи. Сущность этого явленія она, во всякомъ случаѣ, видитъ отнюдь не въ колебаніяхъ частицъ самого эфира. Въ каждой точкѣ луча существуютъ двѣ силы, электрическая и магнитная, перпендикулярныя къ лучу и другъ къ другу. Величина этихъ-то силъ и колеблется весьма быстро между двумя предѣлами, одинаковыми по величинѣ и противоположными по направленію. Въ нѣкоторый моментъ, напр., электрическая сила растетъ, достигаетъ наибольшаго значенія E, затѣмъ убываетъ до нуля, вновь растетъ до E, но уже въ противоположномъ направленіи, опять убываетъ до нуля, растетъ до E въ прежнемъ направленіи и т. д. Подобно же колеблется и величина магнитной силы. Эти то колебанія и распространяются вдоль луча со скоростью свѣта, т.-е. 300.000 км. въ секунду.

Основныя идеи Максвелла восторжествовали надъ старой теоріей упругаго эфира, когда Герцъ открылъ электрическіе лучи, вызванные электрическимъ колебательнымъ разрядомъ. Эти лучи обладаютъ всѣми свойствами лучей свѣтовыхъ; ими пользуются въ безпроволочной телеграфіи.

Прим. 15 (къ стр. 50). Масса тѣла опредѣляется величиною той силы, подъ вліяніемъ которой это тѣло пріобрѣтаетъ опредѣленное ускореніе. Чѣмъ больше масса тѣла, тѣмъ большее требуется усиліе, чтобъ измѣнить его скорость по величинѣ или по направленію. Движущійся электронъ (атомъ отрицательнаго электричества) вызываетъ въ окружающемъ пространствѣ магнитное поле, т.-е. во всѣхъ точкахъ этого пространства дѣйствуютъ магнитныя силы. Это магнитное поле содержитъ нѣкоторый запасъ W энергіи, которая должна быть вызвана работою силъ, приводящихъ электронъ въ движеніи. Приближенное вычисленіе показываетъ, что энергія W равна

$$W = \frac{e^2 v^2}{3ac^2},$$

гдѣ *e* зарядъ шаровиднаго электрона, *a* его радіусъ, *c* его скорость свѣта. Чтобы измѣнить скорость электрона, необходимо увеличить энергію W, а потому мы ее и должны считать за часть энергіи самого движущагося электрона; вся энергія равна $\frac{1}{2} mv^2$, гдѣ *m* масса электрона. Полагая, что покоющійся электронъ обладаетъ массою m_0, мы получаемъ

$$\frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} m_0 v^2 + \frac{e^2 v^2}{3ac^2} = \frac{1}{2} v^2 \left(m_0 + \frac{2e^2}{3ac^2} \right),$$

откуда

$$m = m_0 + \frac{2e^2}{3ac^2}.$$

Второй членъ справа называется электромагнитною массою электрона. Весьма возможно, что $m_0 = 0$, т.-е. что электронъ обладаетъ только электромагнитною массою. Болѣе точное вычисленіе даетъ для m несравненно болѣе сложное выраженіе. При этомъ оказывается, что электронъ одновременно обладаетъ какъ бы двумя различными массами. Одна изъ нихъ (продольная масса) опредѣляетъ инертность электрона по отношенію къ причинамъ, мѣняющимъ его скорость по направленію.

Прим. 16 (къ стр. 54). При вращеніи всего прибора свѣта на 90°, должны измѣниться времена распространенія вдоль LA и LB, а потому должно произойти смѣщеніе интерференціонныхъ полосъ (см. прим. *в*). Вычисленіе показываетъ, что полосы должны передвинуться на N полосъ, гдѣ

$$N = \frac{2lv^2}{\lambda c^2}.$$

Здѣсь $l = LA = LB$, v скорость движенія земли (30 км. въ сек.), λ длина волны лучей, c скорость свѣта. Для опытовъ, произведенныхъ впослѣдствіи Морлей и Миллеромъ, вычисленіе давало $N = 1{,}5$, между тѣмъ не имѣло мѣсто даже смѣщеніе въ 200 разъ меньшее, могущее еще быть замѣченнымъ наблюдателями.

Прим 17 (Къ стр. 74). Въ прим. 15 было указано на различіе между продольною и поперечною массами электрона. Теорія Эйнштейна приводитъ къ тому же понятію о двухъ различныхъ массахъ для всѣхъ

тѣлъ. Здѣсь новаго нѣтъ, если допустить, что молекулы обыкновенной матеріи построены изъ электроновъ. Въ этомъ случаѣ всякая масса есть масса электромагнитная, вся механика должна быть построена на основахъ ученія о явленіяхъ электрическихъ и магнитныхъ, и старое механическое міровоззрѣніе должно быть замѣнено новымъ—электромагнитнымъ.

Прим. 18 (Къ стр. 74). Ученіе Эйнштейна приводитъ къ слѣдующему парадоксальному результату. Двѣ одинаково направленныя скорости v_1 и v_2 складываются въ одну скорость v, которая не равна $v_1 + v_2$, но опредѣляется формулой

$$V = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c_2}},$$

гдѣ c скорость свѣта. Эта величина не можетъ превышать скорости свѣта c. Если положить $v_1 = c$ то при всякомъ v_2 и даже при $v_2 = c$, получается $v = c$.

О. Х.

СКЛАДЪ ИЗДАНІЯ:
КНИЖНЫЙ СКЛАДЪ „ЕСТЕСТВОИСПЫТАТЕЛЬ"
С. Петербургъ, Вас. Остр., 3 л., 48. Тел. 187—67.